

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA MESOPORI MCM-41 SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA REMAZOL KUNING**



**MAHDIS MAHFUD  
H031191044**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA MESOPORI MCM-41 SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA REMAZOL KUNING**

**MAHDIS MAHFUD  
H031191044**



**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA MESOPORI MCM-41 SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA REMAZOL KUNING**

MAHDIS MAHFUD  
H031191044

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Kimia

Pada

**PROGRAM STUDI KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**SKRIPSI**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SILIKA MESOPORI MCM-41 SEBAGAI  
ADSORBEN ZAT WARNA REMAZOL KUNING**

**MAHDIS MAHFUD  
H031191044**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Program Studi Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Pada 28 November 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Program Studi Kimia  
Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin  
Makassar


Mengesahkan:

Pembimbing Utama,



Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D  
NIP. 195711151988102001

Pembimbing Pertama,



Dr. St. Fauziah, M.Si  
NIP. 19720202199903200202

Mengetahui:  
Ketua Program Studi



Dr. St. Fauziah, M.Si  
NIP. 19720202199903200202

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Sintesis Dan Karakterisasi Silika Mesopori MCM-41 sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Kuning" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D dan Dr. St. Fauziah, M.Si). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 29 November 2024



**Mahdis Mahfud  
NIM H031191044**

## Ucapan Terima Kasih

### *Bismillahirrahmanirrahim*

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga prposal penelitian dengan judul “**Sintesis dan Karakterisasi Silika Mesopori (MCM-41) Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Kuning**” dapat terselesaikan dengan baik.

Shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarga beliau yang telah memberikan tauladan dan inspirasi dalam menjalani kehidupan di dunia dan di akhirat. Sesungguhnya penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bimbingan, bantuan dan kemurahan hati dari berbagai pihak. Oleh karena itu, disamping rasa syukur yang tak terhingga atas nikmat yang telah diberikan oleh Allah SWT penulis juga menyampaikan rasa terima kasih sedalam-dalamnya kepada Ibu **Prof. Paulina Taba, M.Phil., Ph.D** sebagai pembimbing utama dan Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** sebagai pembimbing pertama yang telah memberikan ilmu dan senantiasa meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta turut memberikan pendampingan selama proses penyusunan dan penyelesaian skripsi ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ketua dan Sekretaris Departemen Kimia, Ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** dan Ibu **Dr. Nur Umriani Permatasari, S.Si, M.Si** serta seluruh Dosen Kimia yang telah memberikan ilmunya kepada penulis dan Staf Departemen Kimia yang telah banyak membantu penulis.
2. Tim Penguji, bapak **Dr. Maming, M.Si**, ibu **Dr. Herlina Rasyid, S.Si**, ibu **Dr. Rugaiyah A. Arfah, M.Si** dan ibu **Bulkis Musa, S.Si.,M.Si**. Terima kasih atas ilmu, bimbingan dan saran-saran yang diberikan kepada penulis selama penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.
3. Seluruh Analis Laboratorium yang membantu penulis dalam penelitian.
4. Orang tua penulis, Ayahanda Rustan dan ibunda Roslina, Terima kasih karena sudah mengantarkanku ke tempat ini dengan segala perhatian, kasih sayang, waktu, materi, pengorbanan, motivasi serta do'a yang tulus yang tiada henti kepada penulis.
5. Untuk teman-teman penulis **Shabir** dan **Alif** yang selalu menemani dan kebersamai dalam menyelesaikan penelitian.
6. Rekan-rekan **Lab. Kimia Fisik**.
7. teman-teman **Kimia 2019**, terkhusus saudara-saudariku **Konf19urasi** yang selalu melukis cerita bersama, menemani dalam suka dan duka membantu, dan menghiasi perkuliahan.
8. teman-teman **MIPA 2019** terkhusus saudara-saudaraku di maperwa dan jajaran legislatif serta yang masih bertahan sampai akhir.
9. terima kasih kepada **Kanda dan Adinda KMK FMIPA Unhas dan KM FMIPA Unhas**.

10. Serta ucapan terima kasih kepada pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan secara langsung ataupun tidak langsung, yang tidak sempat kami sebutkan satu per satu atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh berbagai pihak, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Semoga Tuhan membalasnya

Penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, maka penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam perbaikandan penyempurnaannya. Akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan, dapat diterapkan dalam dunia industri, bermanfaat bagi semua pihak dan semoga selalu dalam lindungan Allah SWT.

Makassar, 23 Juni2024

Penulis

## ABSTRAK

MAHDIS MAHFUD. **Sintesis dan Karakterisasi Silika Mesopori MCM-41 Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Kuning** (dibimbing oleh Paulina Taba dan St. Fauziah).

**Latar Belakang.** Industri tekstil menghasilkan limbah cair yang mengandung zat warna seperti remazol kuning. Zat warna ini berbahaya karena bersifat toksik dan sulit didegradasi jika masuk ke perairan. Metode adsorpsi digunakan untuk menghilangkan zat warna. Salah satu adsorben yang memiliki kemampuan yang baik dalam mengadsorpsi zat warna adalah silika mesopori (MCM-41). **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil karakterisasi TC-MCM-41 dan C-MCM-41, menentukan waktu kontak optimum, menganalisis kinetika adsorpsi, menentukan isotermal yang berlaku serta menentukan kapasitas adsorpsi MCM-41 terhadap zat warna remazol kuning. **Metode.** Dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yakni: 1) sintesis silika mesopori MCM-41 menggunakan metode hidrotermal, 2) karakterisasi silika mesopori MCM-41-TC dan MCM-41-C yang meliputi analisis XRD, FTIR, SEM dan BET. 3) analisis pengaruh waktu kontak, kinetika adsorpsi, isoterm adsorpsi yang berlaku serta desorpsi zat warna remazol kuning oleh adsorben MCM-41 Menggunakan program Microsoft Excel 2019. **Hasil.** Silika mesopori (MCM-41) berhasil disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal. Hasil XRD menunjukkan bahwa material yang disintesis memiliki karakteristik untuk MCM-41. Spektra FTIR hasil sintesis menunjukkan pita serapan pada bilangan gelombang yang sama dengan material MCM-41 yang telah dilaporkan. Morfologi permukaan oleh kedua adsorben berbentuk bola memanjang, sesuai dengan karakteristik material MCM-41 yang telah dilaporkan. Data adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> menunjukkan bahwa MCM-41-C memiliki luas permukaan, volume pori, dan diameter pori yang lebih besar daripada MCM-41-TC. Kapasitas adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC sebesar 82,04 mg/g sedangkan MCM-41-C hanya mampu mengadsorpsi remazol kuning sebesar 229,34 mg/g. Kedua adsorben mengikuti kinetika adsorpsi orde dua semu dan isoterm adsorpsi Langmuir. **Kesimpulan.** Adsorpsi MCM-41-TC dan MCM-41-C dipengaruhi oleh gugus silanol (Si-OH) dan gugus amonium yang berasal dari larutan surfaktan STAK. Penghilangan Surfaktan mengakibatkan peningkatan kapasitas adsorpsi MCM-41.

Kata Kunci: Adsorpsi, kapasitas adsorpsi, MCM-41, remazol kuning, sintesis.



## ABSTRACT

MAHDIS MAHFUD. **Synthesis and Characterization of Mesoporous Silica MCM-41 as an Adsorbent for Remazol Yellow Dye** (supervised by Paulina Taba and St. Fauziah).

**Background.** The textile industry generates wastewater containing dyes such as Remazol Yellow. These dyes are hazardous due to their toxic nature and resistance to degradation in water bodies. Adsorption methods are employed to remove these dyes, with mesoporous silica (MCM-41) known for its effective adsorption capabilities. **Objective.** This study aims to analyze the characterization results of TC-MCM-41 and C-MCM-41, determine the optimum contact time, analyze the adsorption kinetics, establish applicable isotherms, and ascertain the adsorption capacity of MCM-41 for Remazol Yellow dye. **Methods.** The research consists of several stages: 1) synthesis of mesoporous silica MCM-41 using the hydrothermal method, 2) characterization of TC-MCM-41 and C-MCM-41 including XRD, FTIR, SEM, and BET analyses, 3) analysis of contact time effects, adsorption kinetics, applicable isotherms, and desorption of Remazol Yellow dye by MCM-41 using Microsoft Excel 2019. **Results.** Mesoporous silica (MCM-41) was successfully synthesized using the hydrothermal method. XRD results indicated that the synthesized material exhibited characteristic features of MCM-41. FTIR spectra of the synthesized materials showed absorption bands at wave numbers consistent with reported MCM-41 materials. Surface morphology of both adsorbents appeared as elongated spherical particles, consistent with the reported characteristics of MCM-41 materials. N<sub>2</sub> adsorption-desorption data indicated that MCM-41-C possessed higher surface area, pore volume, and pore diameter compared to MCM-41-TC. The adsorption capacity of Remazol Yellow dye by MCM-41-TC was 82.04 mg/g, whereas MCM-41-C adsorbed Remazol Yellow dye at 229.34 mg/g. Both adsorbents followed pseudo-second-order adsorption kinetics and Langmuir adsorption isotherms. **Conclusion.** Adsorption of Remazol Yellow dye by MCM-41-TC and MCM-41-C was influenced by silanol (Si-OH) and ammonium groups derived from the STAK surfactant solution. Removal of surfactant resulted in increased adsorption capacity of MCM-41.

Keywords: Adsorption, adsorption capacity, MCM-41, Remazol Yellow, synthesis.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. METODE PENELITIAN</b> .....	<b>5</b>
2.1 Bahan Penelitian .....	5
2.2 Alat Penelitian .....	5
2.3 Waktu dan Tempat Penelitian .....	5
2.4 Prosedur Penelitian .....	5
2.4.1 Sintesis Silika Mesopori MCM-41 .....	5
2.4.2 Karakterisasi MCM-41 .....	6
2.4.3 Pembuatan Larutan Induk Remazol Kuning 1000 ppm .....	6
2.4.4 Penentuan Panjang Gelombang Optimum .....	6
2.4.5 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna Remazol Kuning .....	7
2.4.6 Penentuan Waktu Optimum dan Kinetika Adsorpsi .....	7
2.4.7 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Remazol .....	7
2.4.8 Desorpsi Zat Warna Remazol Kuning .....	8
<b>BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>9</b>
3.1 Sintesis dan Karakterisasi Silika Mesopori MCM-41 .....	9
3.1.1 Analisis Difraksi Sinar-X (XRD) MCM-41 .....	9
3.1.2 Hasil Karakterisasi FTIR MCM-41 .....	10
3.1.3 Hasil Karakterisasi SEM Terhadap MCM-41 .....	11
3.1.4 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi N <sub>2</sub> .....	11
3.2 Pengaruh Waktu Kontak .....	12

3.3 Studi Kinetika Adsorpsi Zat Warna Remazol Kuning oleh MCM-41 ..	13
3.4 Isoterm Adsorpsi .....	14
3.5 Desorpsi Zat Warna Remazol Kuning oleh Adsorben MCM-41 .....	19
BAB IV. KESIMPULAN .....	20
4.1 Kesimpulan .....	20
4.2 Saran .....	20
DAFTAR PUSTAKA .....	21
LAMPIRAN .....	27

**DAFTAR TABEL**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Luas permukaan dan pori material hasil sintesis .....	12
2. Perbandingan konstanta orde satu semu dan orde dua semu adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC dan MCM-41-C .....	14
3. Perbandingan jumlah remazol kuning yang diadsorpsi .....	15
4. Parameter isotherm adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41 TC dan MCM-41-C dari persamaan linear .....	18

**DAFTAR GAMBAR**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Pola difraksi sinar-X dari MCM-41-TC dan MCM-41-C .....	9
2. Spektrum FTIR MCM-41-TC dan MCM-41-C .....	10
3. Tipikal morfologi (a) MCM-41-TC dan (b) MCM-41-C .....	11
4. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> .....	11
5. Jumlah remazol kuning yang diadsorpsi Vs waktu kontak .....	12
6. Kinetika orde satu semu adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41 .....	13
7. Kinetika orde dua semu adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41 .....	13
8. Kemampuan adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41 .....	14
9. Kurva isotermal Langmuir remazol kuning dari persamaan linear .....	15
10. Kurva isotermal Freundlich remazol kuning dari persamaan linear .....	16
11. Kurva isotermal Sips remazol kuning dari persamaan linear .....	16
12. Spektrum FTIR MCM-41-C+RK dan MCM-41-TC+RK .....	17
13. Ilustrasi interaksi antara adsorben dan zat warna remazol kuning .....	18
14. Desorpsi zat warna remazol kuning .....	18

**DAFTAR LAMPIRAN**

<b>Nomor Urut</b>	<b>Halaman</b>
1. Diagram Alir Penelitian .....	27
2. Dokumentasi Penelitian .....	32
3. Karakterisasi XRD .....	34
4. Karakterisasi FTIR .....	36
5. Karakterisasi BET .....	40
6. Data penentuan panjang gelombang maksimum remazol kuning dengan konsentrasi 20 mg/L .....	42
7. Data absorbansi kurva standar larutan remazol kuning .....	43
8. Penentuan waktu optimum adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC .....	44
9. Data studi kinetika adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC .....	45
10. Penentuan waktu optimum adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C .....	47
11. Data studi kinetika adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C .....	48
12. Penentuan kapasitas adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC ...	50
13. Isoterm adsorpsi MCM-41-TC .....	51
14. Penentuan kapasitas adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C .....	53
15. Isoterm adsorpsi MCM-41-C .....	54
16. Data desorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC dan MCM-41-C .....	56

**DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN**

<b>Lambang/Singkatan</b>	<b>Arti dan Penjelasan</b>
STABr	setiltrimetilammonium bromide
STAK	setiltrimetilammonium klorida
MCM-41	<i>Mobil Composition of Matter number 41</i>
TEOS	Tetraetilortosilikat
TMOS	tetrametilortosilikat
Å	Angstrom

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu industri yang ada di negara Indonesia adalah industri tekstil dan produk tekstil. Subsektor industri ini menghasilkan produk sandang yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat dan mempunyai peranan yang sangat penting terhadap perekonomian nasional. Pada tahun 2022, industri tekstil dan produk tekstil menyumbang Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar Rp. 139,33 triliun. Nilai tersebut lebih tinggi 9,34% dibandingkan pada tahun sebelumnya yakni sebesar Rp. 127,43 triliun menurut data BPS tahun 2022. Industri ini mampu membuka lapangan pekerjaan yang besar bagi rakyat Indonesia, sekitar 1,5 juta orang bekerja pada subsektor industri tekstil (Apriliyanto dan Rusdarti, 2018).

Bangkitnya industri tekstil tidak hanya memberikan nilai positif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional, namun juga memberikan dampak buruk terhadap kualitas lingkungan Indonesia. Industri tekstil merupakan industri yang banyak menggunakan air dalam proses produksinya, sehingga menghasilkan limbah cair yang cukup banyak. Selain itu, industri tekstil juga menggunakan berbagai macam bahan kimia dalam proses produksinya seperti bahan pewarna, naftol, soda api dan bahan lainnya. Bahan-bahan tersebut merupakan sumber pencemar utama karena hanya sebagian kecil yang mampu terserap pada produk tekstil, sedangkan sebagian besar kandungannya terbuang bersama air buangan (Prayudi dan Susanto, 2000). Limbah cair tersebut berpotensi untuk mencemari lingkungan karena nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), pH, suhu, *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS) tinggi (Indrayani dan Triswiswara, 2018).

Penggunaan bahan kimia berbahaya dalam industri tekstil khususnya dalam kegiatan pewarnaan tidak dapat dihindari. Industri lebih memilih menggunakan zat warna kimia karena bahan tersebut mudah didapatkan dalam jumlah banyak di pasaran, sedangkan zat warna alami yang berasal dari tumbuhan butuh proses panjang dalam mengekstraknya (Prayudi dan Susanto, 2000). Zat warna kimia sintetis secara besar-besaran yang dikombinasikan dengan penggunaan bahan kimia lainnya digunakan untuk menggantikan zat warna alami, dimana di antara bahan-bahan yang digunakan tersebut mengandung bahan berbahaya beracun (B3) di antaranya nonilfenol (NP) dan tributyl fosfat (TBP). Sekitar 60%-70% zat warna yang digunakan dalam pencelupan tekstil adalah zat warna sintetik golongan azo dan turunannya. Zat warna azo banyak digunakan dalam pencelupan kain terutama kain dari serat selulosa, rayon, dan wool. Hal ini karena zat warna azo dapat terikat kuat pada kain, sehingga zat warna tersebut tidak mudah luntur dan memberikan warna yang baik (Putra, 2016).

Senyawa azo dan turunannya yang memiliki inti benzena sangat sulit didegradasi atau jika memungkinkan perlu waktu yang lama. Senyawa azo bila terlalu lama berada di lingkungan, akan menjadi sumber penyakit karena sifatnya karsinogen dan mutagenik. Pengolahan limbah zat warna pada tekstil sulit



dilakukan karena struktur aromatik pada zat warna sulit dibiodegradasi, khususnya zat warna reaktif karena terbentuknya ikatan kovalen yang kuat antara atom C dari zat warna dengan atom O, N atau S dari gugus hidroksi, amina atau tiol dari polimer. Oleh karena itu, alternatif yang efektif perlu dicari untuk menguraikan limbah tersebut (Widjajanti dkk., 2011).

Berbagai metode telah dikembangkan sebagai upaya mengatasi permasalahan yang diakibatkan oleh industri tekstil seperti sistem lumpur aktif, adsorpsi, proses oksidasi lanjutan, elektrodegradasi, fotodegradasi dan elektrokoagulasi. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengolah limbah tekstil seperti fotokatalitik (Rashed dan El-Amin, 2007), adsorpsi (Jannantin dkk., 2003), dan koagulasi (Sianita dan Nurcahyati, 2008). Pada pengolahan limbah cair, metode adsorpsi merupakan salah satu cara yang banyak dilakukan terutama untuk menghilangkan zat warna, karena metode ini relatif sederhana dan mudah untuk dilakukan (Susilawati, 2014).

Adsorpsi merupakan proses dimana molekul yang semula ada pada larutan, menempel pada permukaan adsorben secara fisika. Adsorben adalah suatu zat padat yang dapat menyerap komponen atau senyawa tertentu dari suatu fluida (cairan maupun gas). Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang mempunyai pori dan adsorpsi berlangsung pada dinding-dinding pori atau pada situs-situs tertentu di dalam partikel (Mu'in dkk., 2017). Proses adsorpsi yang baik ditentukan oleh pemilihan adsorben yang memiliki kapasitas tinggi dalam mengadsorpsi. Salah satu ciri adsorben yang baik digunakan dalam proses adsorpsi yakni memiliki pori dan luas permukaan yang besar serta dapat digunakan secara berulang (Ahmed dkk., 2016). Pengaplikasian metode adsorpsi dapat menggunakan berbagai macam media adsorben, adsorben yang sering digunakan diantaranya karbon aktif, zeolit, dan silika gel (Larasati dkk., 2016).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ramdani dkk. (2021) menggunakan komposit karbon aktif-kitosan dalam mengadsorpsi zat warna remazol kuning dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,28 mg/g. Penelitian Haironi dkk. (2018) menggunakan kitosan teraktivasi asam askorbat sebagai adsorben zat warna remazol kuning dengan kapasitas adsorpsi sebesar 4,28 mg/g. Penelitian lain dilakukan oleh Damajanti dkk. (2021) menggunakan zeolit alam aktif sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna remazol kuning dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,99 mg/g. Kapasitas adsorpsi merupakan karakteristik yang paling penting dari suatu adsorben. Nilai kapasitas adsorpsi bergantung pada konsentrasi fasa fluida, temperatur dan kondisi lain terutama keadaan awal adsorben. Kapasitas adsorpsi suatu adsorben dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan adsorben pada proses penjerapan (Udyani, 2010).

Kapasitas adsorpsi juga bergantung pada luas permukaan adsorben. Semakin luas permukaan spesifiknya, kapasitas adsorpsi semakin besar pula (Kurniasari, 2010). Salah satu adsorben yang memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik ialah silika. Hal ini dapat ditunjukkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rofi'ah (2016) dengan menggunakan silika gel sebagai adsorben zat warna indigo karmin dengan kapasitas adsorpsi 41,84 mg/g.

Berdasarkan data tersebut, adsorben yang menarik untuk dikembangkan adalah silika. Silika yang digunakan memiliki pori dengan ukuran mikro sehingga kemampuan untuk mengadsorpsi molekul besar terbatas. Oleh karena itu, penggunaan silika mesopori sebagai adsorben menjadi alternatif. Silika jenis ini memiliki luas permukaan yang besar. Beberapa contoh silika mesopori yang sudah dikenal luas adalah MCM-41, MCM-48 dan MCM-50 (Admi dkk., 2020). Jenis silika mesopori MCM-41 merupakan tipe yang paling banyak dipelajari karena memiliki struktur heksagonal yang teratur, luas permukaan spesifik yang besar, stabilitas termal yang baik, dan mudah diperoleh dibandingkan jenis silika mesopori lainnya (Costa dkk., 2020). Berdasarkan hal tersebut, MCM-41 memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

Material MCM-41 dapat disintesis dalam berbagai cara. Salah satunya adalah menggunakan templat atau cetakan. Mekanisme tersebut sering disebut "*liquid crystal templating mechanism*", dimana molekul surfaktan bertindak sebagai templat. Pada proses akhir sintesis, metode penghilangan molekul pengarah struktur (templat) memainkan peranan penting karena dapat memengaruhi permukaan internal silika mesopori secara signifikan. Templat merupakan kumpulan dari surfaktan yang berperan sebagai nanoreaktor yang akan mengontrol ukuran pori dari produk. Hal ini disebabkan templat akan mencegah partikel untuk mengalami proses aglomerasi lebih lanjut (Chaharmahali, 2012). Terdapat dua cara umum yang dapat digunakan untuk penghilangan templat yaitu kalsinasi dan ekstraksi pelarut. Kedua metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Metode kalsinasi dapat menghasilkan silika mesopori dengan luas permukaan lebih besar namun memiliki dinding pori yang sangat tipis dan rapuh. Sedangkan metode ekstraksi pelarut, meskipun luas permukaannya relatif lebih rendah, namun dinding porinya sedikit lebih tebal karena tidak mungkin dihilangkan seratus persen (Admi dkk., 2020).

Pada beberapa kasus templat dapat memengaruhi kapasitas adsorpsi MCM-41. Penelitian yang dilakukan oleh Nagappan dkk. (2019) dengan menggunakan material MCM-41 sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna metil kuning menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi sebelum kalsinasi adalah 125 mg/g sedangkan setelah kalsinasi adalah 80 mg/g. Penelitian yang telah dilakukan oleh Boukoussa dkk. (2017) menunjukkan bahwa adsorpsi MCM-41 dengan surfaktan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan MCM-41 setelah kalsinasi. Kapasitas adsorpsi MCM-41 sebelum kalsinasi pada zat warna kuning ialah 44 mg/g sedangkan setelah kalsinasi sebesar 33 mg/g. Hal tersebut menunjukkan bahwa material MCM-41 tanpa penghilangan surfaktan memiliki potensi sebagai adsorben yang lebih baik dengan menggunakan metode kalsinasi.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan silika mesopori MCM-41 sebagai adsorben zat warna remazol kuning. Material MCM-41 yang digunakan sebagai adsorben adalah MCM-41 yang tidak dihilangkan templatnya (TC-MCM-41) dan MCM-41 yang dihilangkan templatnya sebagian (C-MCM-41). Material tersebut dikarakterisasi dengan instrumen XRD, AAS, SEM,

FT-IR dan dilakukan uji kapasitas adsorpsi. Adsorpsi akan dilakukan sebagai fungsi waktu dan konsentrasi serta isothermal adsorpsi akan dipelajari menggunakan model Langmuir, Freundlich dan Sips.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. bagaimana hasil karakterisasi TC-MCM-41 dan C-MCM-41?
2. berapa waktu kontak optimum adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41?
3. bagaimana kinetika adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41?
4. isothermal apakah yang berlaku pada adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41?
5. berapakah kapasitas adsorpsi MCM-41 terhadap zat warna remazol kuning?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. menganalisis hasil karakterisasi TC-MCM-41 dan C-MCM-41
2. menentukan waktu kontak optimum MCM-41 dalam mengadsorpsi zat warna remazol kuning
3. menganalisis kinetika adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41
4. menentukan isothermal yang berlaku pada adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41
5. menentukan kapasitas adsorpsi MCM-41 terhadap zat warna remazol kuning

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap pengelolaan limbah zat warna serta memberikan informasi terkait adsorben silika mesopori MCM-41 dalam menangani masalah pencemaran lingkungan.

## **BAB II METODE PENELITIAN**

### **2.1 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain natrium hidroksida (Merck), Ludox HS40 (39,5 wt % SiO<sub>2</sub>, 0.4 wt % Na<sub>2</sub>O dan 60.1 wt % H<sub>2</sub>O) (Du Pont), amonia (Merck), setiltrimetilamonium klorida (Sigma Aldrich), asam asetat (Merck), natrium klorida (Merck), etanol (Merck), asam klorida (Merck), akuades, kertas saring Whattmann no. 42 dan zat warna remazol kuning.

### **2.2 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat gelas yang sering digunakan dalam laboratorium, neraca analitik (Ohaus), botol polipropilena, batang pengaduk, magnetik *stirrer* (cole-palmer), oven (spnisosfd), termometer, aluminium *foill*, penyaring Buchner, dan pompa vakum (ABM tipe 4EK F6 3CX). Karakterisasi MCM-41 menggunakan spektrofotometer FTIR Prestige-21 (Shimadzu), spektrometer UV-visibel (Spektronik 20 D+), Difraktometer sinar-X (Rigaku), *Surface Area Analyser* (SAA), dan *scanning electron microscope* (SEM).

### **2.3 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2023 – Februari 2024 di Laboratorium Kimia Fisika dan Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium LPPS (Lembaga Penelitian dan Pengembangan Sains) Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri dan Sistem Rekayasa Institut Teknologi Sepuluh November.

### **2.4 Prosedur Penelitian**

#### **2.4.1. Sintesis Silika Mesopori MCM-41**

Material MCM-41 disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan mengikuti prosedur Taba (2008) antara lain 46,9 g NaOH 1M dicampur dengan 14,3 g Ludox HS40. Campuran ini digunakan untuk membuat larutan natrium silikat dengan rasio Na/Si 0,5. Campuran gel yang dihasilkan kemudian dipanaskan sambil diaduk selama 2 jam pada suhu 80 °C. Didalam botol polipropilena, 0,29 g larutan NH<sub>3</sub> 28 % dicampur dengan 20 g larutan STAK 25 %. Larutan natrium silikat yang telah dingin kemudian ditambahkan tetes demi tetes ke dalam campuran yang ada pada botol polipropilena sambil diaduk dengan cepat pada suhu kamar. Setelah diaduk selama 1 jam, campuran gel dipanaskan pada suhu 97 °C selama 24 jam. Campuran dalam botol polipropilena kemudian didinginkan sampai suhu kamar dan pH campuran diatur menjadi 10 dengan menambahkan asam asetat 30 % sambil diaduk dengan kuat. Setelah pengaturan pH, campuran dipanaskan kembali hingga 97 °C selama 24 jam dan didinginkan hingga suhu kamar. Penyesuaian pH dan

proses pemanasan diulang sebanyak 2 kali. Endapan MCM-41 dengan templat kemudian disaring, dicuci dengan akuades lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 97 °C.

Untuk meningkatkan kestabilan hidrotermal, NaCl ditambahkan sebanyak 2,74 g ke dalam campuran setelah dilakukan penyesuaian pH dan proses pemanasan pertama, kemudian campuran dipanaskan kembali pada suhu 97 °C selama 24 jam dan didinginkan hingga suhu kamar sebelum dilakukan pengaturan pH kedua dan proses pemanasan (Ryoo dkk., 1997). Produk yang dihasilkan kemudian dicuci dengan campuran etanol-asam klorida (0,1 mol HCl /L etanol) dengan diaduk selama 30 menit pada suhu kamar untuk menghilangkan surfaktan (Taba, 2008).

#### **2.4.2. Karakterisasi MCM-41**

Silika mesopori MCM-41 dikarakterisasi dengan menggunakan metode analisis *X-Ray Diffraction* (XRD). MCM-41 diukur pada suhu kamar dengan instrument Bruker AXS yang dilengkapi dengan radiasi Cu K $\alpha$  ( $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ ) yang beroperasi pada 40 kV dan 40 mA antara  $2\theta$  dalam kisaran 0,5 dan 10° dengan kecepatan scan 0.02°/s. Silika mesopori MCM-41 sebelum dan sesudah adsorpsi dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR). Sampel dan KBr (1 : 10) digerus dengan menggunakan mortar. Campuran dimasukkan ke dalam tempat khusus berbentuk bulat untuk dijadikan pelet kemudian divakumkan untuk melepas air. Campuran dipress beberapa saat pada tekanan 72 Torr (8 hingga 20 ton per satuan luas) untuk menghasilkan pelet tipis. Spektrum direkam pada wilayah 450 dan 4.000  $\text{cm}^{-1}$  dengan resolusi 2  $\text{cm}^{-1}$  dan jumlah 200 scan.

Silika mesopori MCM-41 dikarakterisasi dengan isoterm adsorpsi/ desorpsi nitrogen. Sampel diukur pada 196 °C menurut luas permukaan Beckmen-Coulter analyzer (model SATM 3100). Semua sampel MCM-41 dilakukan proses *degassing* pada suhu 150 °C selama 4 jam sebelum dilakukan analisis adsorpsi/ desorpsi N<sub>2</sub>. Luas permukaan dihitung dengan menggunakan metode Brunauer Emmet-Teller (BET).

#### **2.4.3. Pembuatan Larutan Induk Remazol Kuning 500 ppm**

Remazol kuning ditimbang sebanyak 0,5 g, kemudian diencerkan menggunakan akuades ke dalam labu takar 1000 mL sampai tanda batas.

#### **2.4.4. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum**

Larutan zat warna remazol kuning dengan konsentrasi 20 ppm. Absorbansinya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 380-430 nm sehingga panjang gelombang optimum diperoleh. Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang dengan nilai absorbansi maksimum.

#### 2.4.5. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna Remazol Kuning

Larutan standar dibuat dengan mengencerkan larutan induk remazol kuning 500 ppm menjadi larutan dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 ppm ke dalam labu takar 50 mL. Blanko yang digunakan adalah akuades, karena dalam proses pelarutan remazol kuning, pelarut yang digunakan adalah akuades. Larutan tersebut diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum.

#### 2.4.6. Penentuan Waktu Optimum dan Kinetika Adsorpsi

MCM-41 sebanyak 0,1 g dan larutan remazol kuning 50 mL dengan konsentrasi 50 ppm dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan variasi waktu 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 dan 270 menit. Larutan disaring, filtrat larutan absorbansinya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.

#### 2.4.7. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Remazol

Larutan remazol kuning 200, 300, 450, 675 dan 1000 ppm sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam lima Erlenmeyer secara terpisah. Kemudian 0,1 g MCM-41 dimasukkan ke dalam setiap erlenmeyer tersebut. Campuran diaduk dengan *shaker* selama waktu optimum dengan kecepatan 150 *rpm*. Selanjutnya, larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Jumlah zat warna yang diadsorpsi oleh silika mesopori MCM-41 dihitung dari perbedaan kadar awal sebelum dan sesudah proses adsorpsi dengan silika mesopori MCM-41 dengan menggunakan persamaan (11):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

keterangan:

$q_e$  = Massa zat warna teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

$C_0$  = Konsentrasi zat warna awal (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

$V$  = Volume larutan (L)

$m$  = massa adsorben (g)

Isoterm adsorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan Langmuir dan Freundlich seperti pada persamaan (8) dan (10) dengan memplot  $\log q_e$  versus  $\log C_e$  untuk persamaan Freundlich atau  $C_e/Q_e$  terhadap  $C_e$  pada persamaan Langmuir. Nilai intersep persamaan Freundlich diperoleh nilai  $k$  dan dari persamaan Langmuir diperoleh nilai  $Q_0$ .

#### 2.4.8 Desorpsi zat warna remazol kuning

Adsorben yang mengandung zat warna kemudian dikeringkan pada suhu 100°C. Setelah kering, desorben ditimbang sebanyak 0,1 g dan dimasukkan ke dalam 50 mL agen pendesorpsi akuades. Campuran diaduk menggunakan *shaker* selama 180 menit lalu disaring. Filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Rasio desorpsi dihitung menggunakan persamaan (12) :

$$\text{Rasio desorpsi} = \frac{\text{jumlah zat warna yang didesorpsi}}{\text{jumlah zat warna yang teradsorpsi}} \times 100 \quad (2)$$

## BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

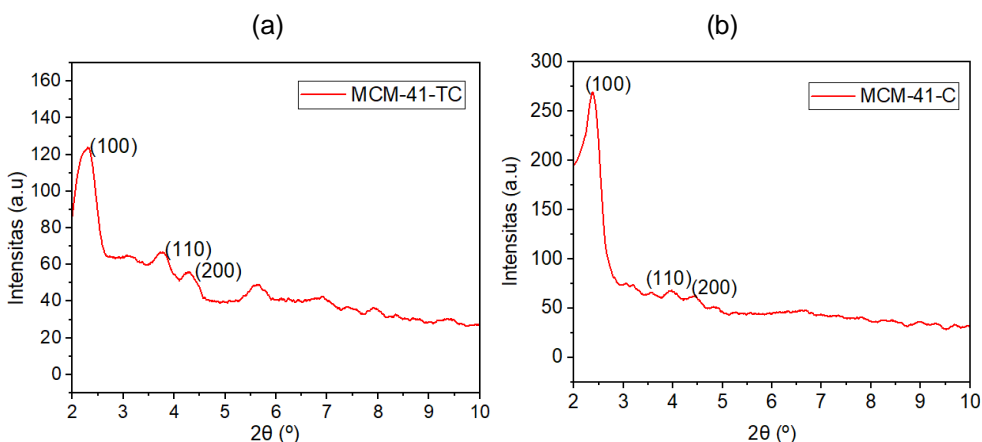
### 3.1 Sintesis dan Karakterisasi Silika Mesopori MCM-41

Silika mesopori MCM-41 disintesis dari Ludox HS40 sebagai sumber silika dan setiltrimetilamonium klorida (STAK) digunakan sebagai surfaktan. Metode yang digunakan dalam sintesis MCM-41 yaitu metode hidrotermal. Penambahan NaCl serta pengaturan pH menjadi pH 10 dilakukan untuk meningkatkan stabilitas hidrotermal material MCM-41 (Taba, 2008).

Hasil sintesis MCM-41 tanpa cuci (MCM-41-TC) yang didapatkan ialah sebanyak 40,20 g, kemudian sekitar 20 g MCM-41-TC diambil untuk dicuci dengan menggunakan HCl-etanol untuk penghilangan surfaktan. Material MCM-41 setelah cuci (MCM-41-C) diperoleh sebanyak 14,25 g. Material MCM-41-TC dan MCM-41-C selanjutnya dikarakterisasi dan diuji sebagai adsorben zat warna remazol kuning.

#### 3.1.1 Analisis Difraksi Sinar-X (XRD) MCM-41

Analisis XRD berfungsi untuk mengidentifikasi dan memastikan bahwa material yang disintesis adalah MCM-41 berdasarkan pola difraksi yang diperoleh. Silika mesopori MCM-41 yang telah disintesis memiliki puncak tipikal (100), (110), (200). Puncak MCM-41-C memiliki intensitas lebih tinggi dibandingkan MCM-41-TC yang diakibatkan oleh hilangnya surfaktan STAK. Penghilangan surfaktan pada material MCM-41 mengakibatkan pori-pori pada permukaannya semakin teratur (Hasanah dkk., 2018). Gambar 6 (a) menunjukkan adanya refleksi pada sudut  $2\theta$  yaitu  $2,37^\circ$ ,  $3,96^\circ$ ,  $4,44^\circ$  sedangkan Gambar 6 (b) menunjukkan sudut  $2\theta$   $2,30^\circ$ ,  $3,79^\circ$ , dan  $4,29^\circ$  yang sesuai dengan bidang (100), (110) dan (200). Refleksi yang terkait menunjukkan kesesuaian karakteristik simetri heksagonal  $p6\ mm$  untuk material MCM-41-TC dan MCM-41-C. Difraktogram dari MCM-41 dapat dilihat pada Gambar 1.

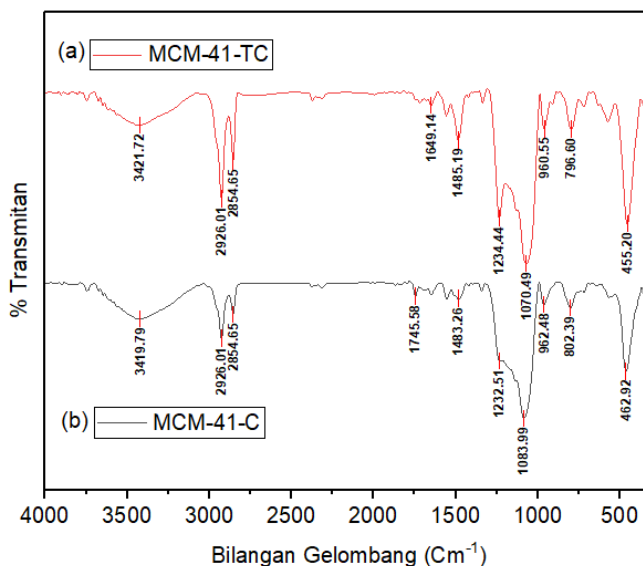


**Gambar 1.** Pola difraksi sinar-X dari (a) MCM-41-TC dan (b) MCM-41-C



### 3.1.2 Hasil Karakterisasi FTIR MCM-41

Gugus fungsi pada silika mesopori MCM-41 sebelum pencucian (MCM-41-TC) dan setelah pencucian (MCM-41-C) diidentifikasi menggunakan spektra FTIR. Spektrum MCM-41 sebelum dan setelah pencucian dapat dilihat pada Gambar 2.



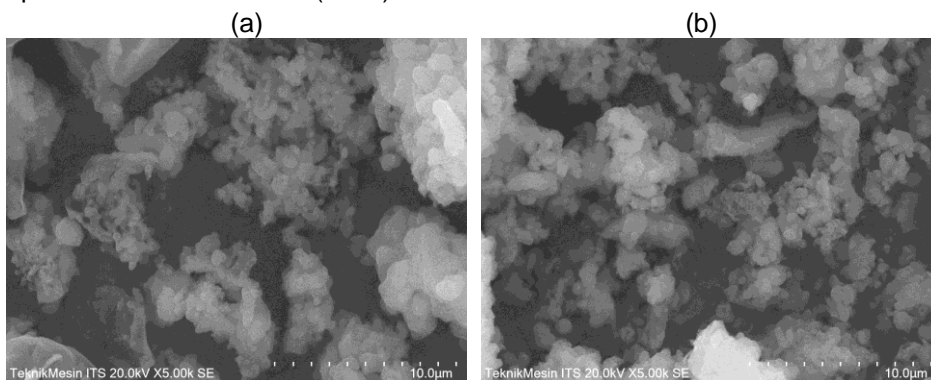
**Gambar 2.** Spektrum FTIR (a) MCM-41-TC dan (b) MCM-41-C

Hasil spektrum MCM-41-TC menunjukkan adanya pita serapan lebar pada bilangan gelombang  $3421,72 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi regang gugus hidroksil yang berasal dari gugus Si-OH serta vibrasi tekuk pada bilangan gelombang  $1649,14 \text{ cm}^{-1}$ . Serapan kuat ikatan regang C-H asimetris dan simetris pada bilangan gelombang  $2926,01$ ;  $2854,65$  dan  $1485,19 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan surfaktan (templat) dalam material yang disintesis. Ikatan C-H yang dikarakterisasi sebagai ikatan metilena ( $-\text{CH}_2$ ) berasal dari surfaktan STAK yang komponen utamanya tersusun atas rantai karbon yang panjang, dimana setil merupakan hidrokarbon dengan 16 atom C yang banyak mengandung ikatan  $-\text{CH}_2$  (Tengker dan Falah, 2017). Spektra infra merah juga memberikan informasi mengenai ikatan Si-O, pada daerah bilangan gelombang  $1234,44$ ;  $1070,49$ ;  $796,60$  dan  $455,20 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ulur ikatan Si-O-Si.

Berdasarkan spektrum pada Gambar 2. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan bilangan gelombang vibrasi regang C-H asimetris dan simetris yang signifikan akibat pencucian HCl-etanol satu kali, tetapi intensitas serapan setelah pencucian lebih rendah daripada sebelum pencucian. Hal ini menunjukkan bahwa pencucian tersebut hanya menghilangkan sebagian surfaktan yang ada pada material silika mesopori yang juga ditunjukkan dengan berkurangnya intensitas serapan pada puncak serapan C-H asimetris dan simetris.

### 3.1.3 Hasil Karakterisasi SEM Terhadap MCM-41

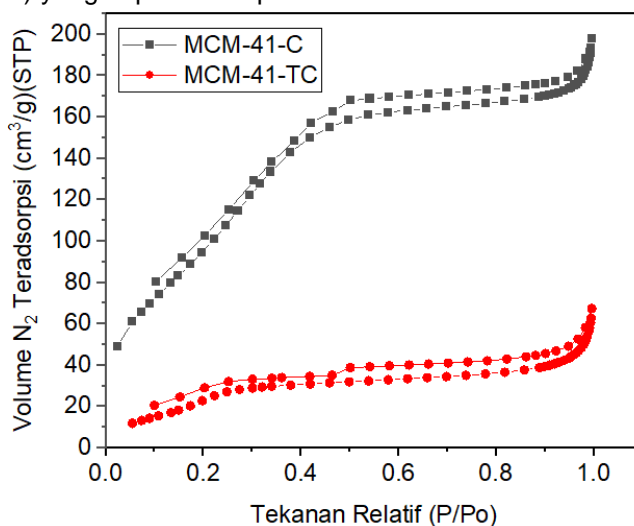
Karakterisasi dengan SEM bertujuan untuk menganalisis morfologi dari silika mesopori MCM-41. Hasil karakterisasi MCM-41 menunjukkan tidak adanya perbedaan signifikan baik sebelum dilakukan pencucian maupun setelah dilakukan pencucian. Morfologi permukaan MCM-41-TC dan MCM-41-C pada Gambar 3 menunjukkan adanya aglomerat partikel yang berbentuk bola dan memiliki permukaan yang halus. Morfologi ini sesuai dengan morfologi MCM-41 yang telah dilaporkan oleh Khaled dkk. (2022).



**Gambar 3.** Tipikal morfologi (a) MCM-41-TC dan (b) MCM-41-C

### 3.1.4 Isoterm Adsorpsi-Desorpsi N<sub>2</sub>

Karakterisasi adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> bertujuan untuk menentukan luas permukaan dan ukuran pori material hasil sintesis. Pengukuran luas permukaan menggunakan metode Brunauer-Emmet-Teller (BET) dengan menggunakan gas inert N<sub>2</sub> sebagai adsorbat. Hasil yang diperoleh merupakan kurva isoterm yang didapatkan dari plot volume N<sub>2</sub> yang teradsorpsi dan terdesorpsi terhadap tekanan relatif gas ( $P/P_0$ ) yang dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub>

Kedua adsorben menunjukkan kurva tipe IV menurut hasil klasifikasi IUPAC. Kurva tipe IV menunjukkan ciri khas material mesopori. Luas permukaan spesifik (BET), diameter pori dan volume pori total diperoleh dari isoterm serapan nitrogen yang dapat dilihat pada Tabel 1.

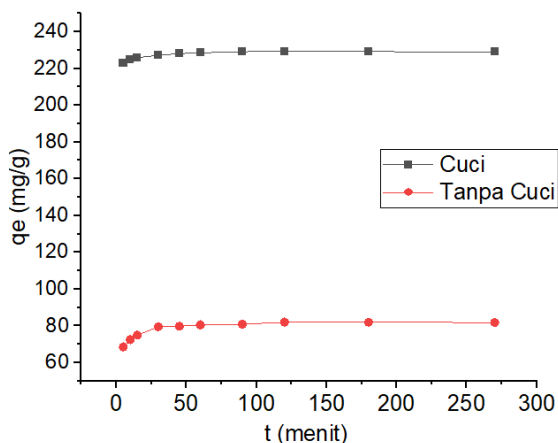
**Tabel 1.** Luas permukaan dan pori material hasil sintesis

Sampel	Luas permukaan BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Volume pori ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Diameter pori (nm)
MCM-41-TC	114,4411	0,102834	3,7918
MCM-41-C	402,4458	0,300895	2,8148

Berdasarkan data yang diperoleh, luas permukaan, volume pori yang dimiliki oleh MCM-41-C lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil MCM-41-TC. Hal ini mengindikasikan bahwa pencucian menggunakan HCl-etanol telah menghilangkan sebagian surfaktan. Penghilangan surfaktan yang telah terjadi menyebabkan luas permukaan dan volume pori meningkat. Jumlah  $\text{N}_2$  yang diadsorpsi oleh MCM-41-C jauh lebih besar daripada MCM-41-TC.

### 3.2 Pengaruh Waktu Kontak

Adsorpsi dengan variasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui waktu kontak optimum proses adsorpsi. Umumnya semakin lama waktu kontak antara adsorben dan adsorbat, semakin banyak jumlah remazol kuning yang diadsorpsi. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, dan 270 menit dengan massa adsorben sebesar 0,1 g dan konsentrasi awal zat warna 150 mg/L pada MCM-41-TC dan 500 mg/L pada MCM-41-C. Kurva jumlah remazol kuning yang diadsorpsi sebagai fungsi waktu dapat dilihat pada Gambar 5.



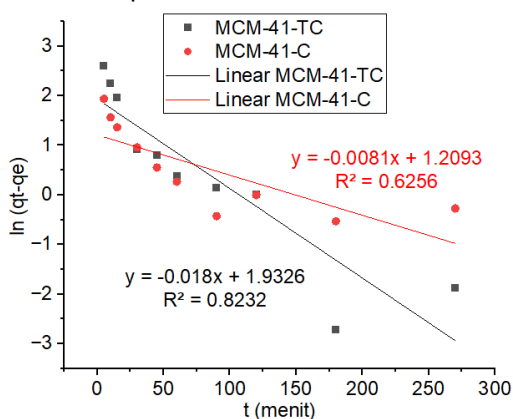
**Gambar 5.** Jumlah remazol kuning yang diadsorpsi Vs waktu kontak

Berdasarkan Gambar 5, pada kondisi awal, kapasitas adsorpsi MCM-41-TC dan MCM-41-C masih mengalami kenaikan yang cukup signifikan

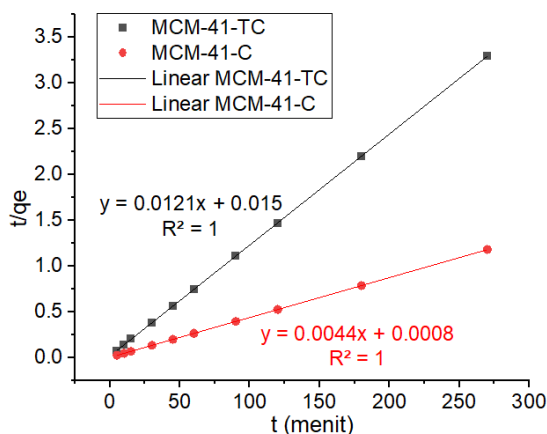
ketika waktu kontak masih kurang 90 menit. Hal tersebut menandakan bahwa adsorben masih mampu mengadsorpsi molekul remazol kuning dalam larutan. Namun pada waktu 120 menit, jumlah remazol kuning yang diadsorpsi cenderung konstan. Hal ini terjadi karena sisi aktif permukaan silika mesopori telah diisi penuh oleh sejumlah adsorbat sehingga penambahan waktu kontak adsorpsi hanya menyebabkan sedikit peningkatan pada jumlah yang diadsorpsi atau cenderung konstan. Hal ini menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi zat warna remazol kuning adalah 120 menit.

### 3.3 Studi Kinetika Adsorpsi Zat Warna Remazol Kuning oleh MCM-41

Studi kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kecepatan adsorpsi remazol kuning pada masing-masing adsorben. Kinetika adsorpsi pada penelitian ini didasarkan pada orde satu semu dan orde dua semu. Plot  $\ln(q_e - q_t)$  Vs  $t$  untuk model kinetika orde satu semu diberikan pada Gambar 6 dan plot  $t/q_e$  Vs  $t$  untuk model kinetika orde dua semu pada Gambar 7.



**Gambar 6.** Kinetika orde satu semu adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41



**Gambar 7.** Kinetika orde dua semu adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41

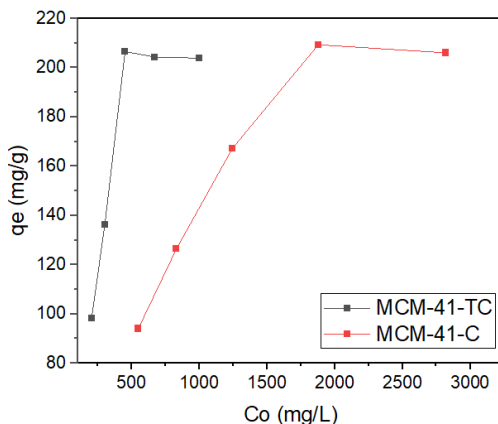
Berdasarkan kinetika orde satu semu dan dua semu dari masing-masing adsorben, nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) orde dua semu memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan plot orde satu semu. Hal ini menunjukkan kesesuaian kinetika adsorpsi orde dua semu pada sistem tersebut. Nilai  $R^2$  pada orde dua semu yang diperoleh adalah 1 pada adsorben MCM-41-TC dan MCM-41-C. Nilai jumlah remazol kuning yang diadsorpsi secara perhitungan pada orde dua semu (Tabel 2) lebih mendekati nilai jumlah yang di adsorpsi eksperimen yang menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi remazol kuning pada material MCM-41-TC dan MCM-41-C mengikuti orde dua semu. Kinetika adsorpsi orde dua semu mengindikasikan bahwa adsorpsi zat remazol kuning oleh material mesopori silika MCM-41 terjadi secara kimia. Hal ini dapat terjadi karena orde dua semu mengasumsikan bahwa kapasitas mengadsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif dari adsorben (Ho, dkk., 2000). Nilai tetapan  $k_1$  dan  $k_2$  pada kinetika orde satu semu dan orde dua semu mengindikasikan tingkat kecepatan adsorpsi zat warna dengan waktu yang dibutuhkan untuk mengadsorpsi zat warna. Data kinetika adsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan konstanta orde satu semu dan orde dua semu adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC dan MCM-41-C

Adsorben	orde satu semu			orde dua semu			$q_e$ eksprimen (mg/g)
	$R^2$	$q_e$ (mg/g)	$k_1$ (/menit)	$R^2$	$q_e$ (mg/g)	$k_2$ (g/mg. menit)	
MCM-41-TC	0.823	85,6248	0,018	1	82,64	0,0097	82,04
MCM-41-C	0,625	16,1919	0,0081	1	227,27	0,0242	229,34

### 3.4 Isoterm Adsorpsi

Gambar 8 menunjukkan adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41-TC dan MCM-41-C



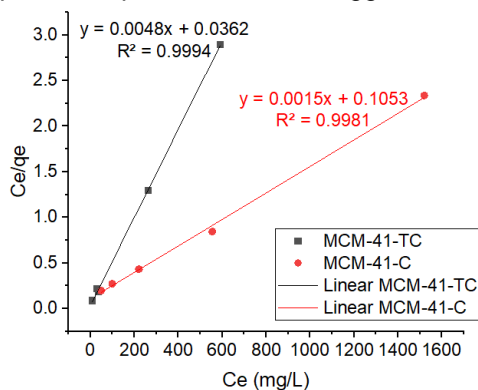
**Gambar 8.** Kemampuan adsorpsi remazol kuning oleh material MCM-41

Adsorpsi remazol kuning mengalami peningkatan yang signifikan pada konsentrasi kurang dari 450 mg/L untuk MCM-41-TC dan 1875 mg/L untuk MCM-41-C. Kemudian mengalami sedikit penurunan pada konsentrasi 670 mg/L untuk MCM-41-TC dan 2830 mg/L untuk MCM-41-C yang mengindikasikan bahwa adsorben mulai jenuh dan terpenuhi oleh adsorbat. Gambar 8 menunjukkan bahwa kemampuan MCM-41-C untuk mengadsorpsi remazol kuning lebih besar dari MCM-41-TC. Jumlah adsorpsi remazol kuning maksimum oleh MCM-41-TC diperoleh 206,5808 mg/g sedangkan MCM-41-C mampu mengadsorpsi hingga 657,9102 mg/g. Hal ini dapat terjadi karena sifat kimia permukaan kedua material ini berbeda. Keberadaan setiltrimetilamonium klorida (STAK) sebagai surfaktan (agen pengarah struktur), memodifikasi porositas adsorben, yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi adsorben (Boukoussa, dkk., 2013). Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, material MCM-41 mampu mengadsorpsi remazol kuning lebih banyak. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.

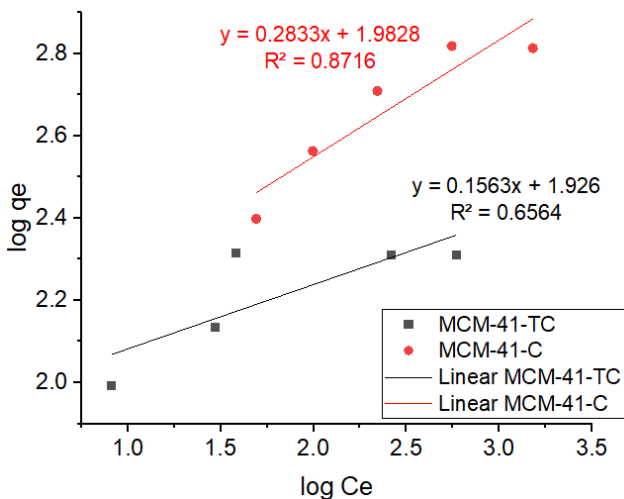
**Tabel 3.** Perbandingan jumlah remazol kuning yang diadsorpsi

Adsorben	jumlah remazol kuning maksimum yang diadsorpsi (mg/g)	Referensi
MCM-41-TC	206,5808	Penelitian ini
MCM-41-C	657,9102	Penelitian ini
komposit karbon aktif-kitosan	1,28	Ramdani dkk., 2021
kitosan teraktivasi asam askorbat	4,28	Haironi dkk., 2018
zeolit alam aktif	1,99	Damajanti dkk., 2021

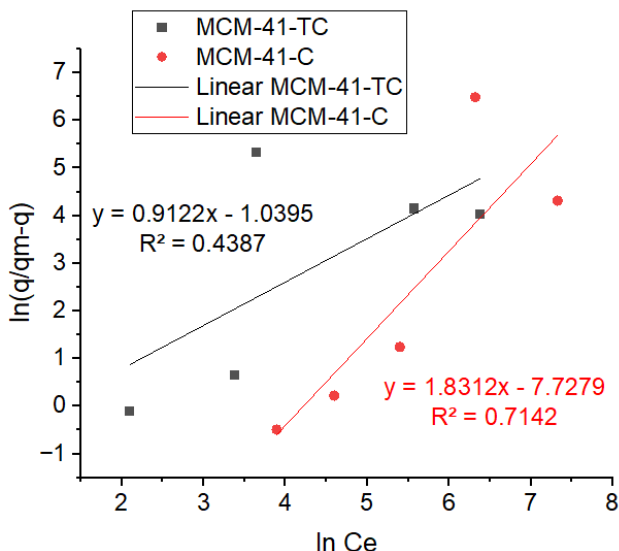
Studi mengenai isoterm adsorpsi juga dibahas dalam penelitian ini. Isoterm Langmuir, Freundlich dan Sips dari persamaan linear digunakan untuk menggambarkan sistematika adsorpsi dalam sistem. Pola adsorpsi isoterm persamaan linear dapat dilihat pada Gambar 9 hingga 11.



**Gambar 9.** Kurva isotermal Langmuir remazol kuning dari persamaan linear



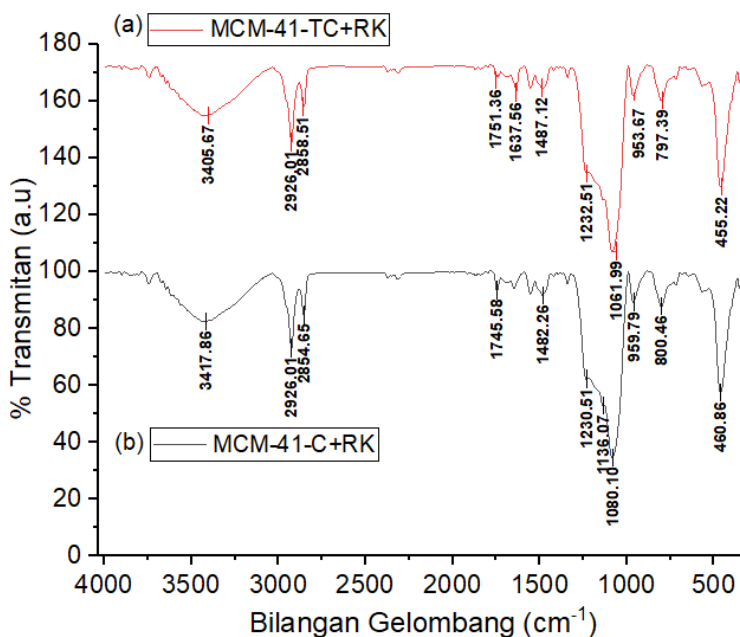
Gambar 10. Kurva isotermal Freundlich remazol kuning dari persamaan linear



Gambar 11. Kurva isotermal Sips remazol kuning dari persamaan linear

Berdasarkan persamaan linear isoterm langmuir (8), persamaan linear isoterm freundlich (10) dan persamaan linear isotermal sips didapatkan nilai koefisien korelasi  $R^2$  masing-masing. Berdasarkan kurva isoterm Langmuir MCM-41-TC dan MCM-41-C lebih tinggi dengan nilai  $R^2$  0,9994 dan 0,9981 terhadap zat warna remazol kuning. Sedangkan  $R^2$  untuk isoterm Freundlich dan Sips memiliki nilai 0,8716 dan 0,6564 serta 0,4387 dan 0,7142. Berdasarkan nilai  $R^2$  yang mendekati 1, maka MCM-41-TC dan MCM-41-C mengikuti isoterm Langmuir. Data hasil persamaan linear isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich dan Sips pada remazol kuning dapat dilihat pada Tabel 4.

Interaksi yang terjadi dapat dipelajari melalui analisis menggunakan FTIR. Spektrum MCM-41-TC dan MCM-41-C dapat dilihat pada Gambar 12 yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan. Pada MCM-41-TC+RK Pergeseran bilangan gelombang pada  $3421,72 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3405,67 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur -OH serta pergeseran pada  $1070,49$  dan  $960,55 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1061,99$  dan  $953,67 \text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur SiO. Sedangkan pada MCM-41-C+RK terdapat pergeseran bilangan gelombang  $3419,58$ ,  $1083,52$  dan  $962,18 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3417,86$ ,  $1080,1$  dan  $959,79 \text{ cm}^{-1}$ . Terjadinya pergeseran bilangan gelombang tersebut mengindikasikan terjadinya interaksi kimia antara gugus fungsi dan zat warna remazol kuning.

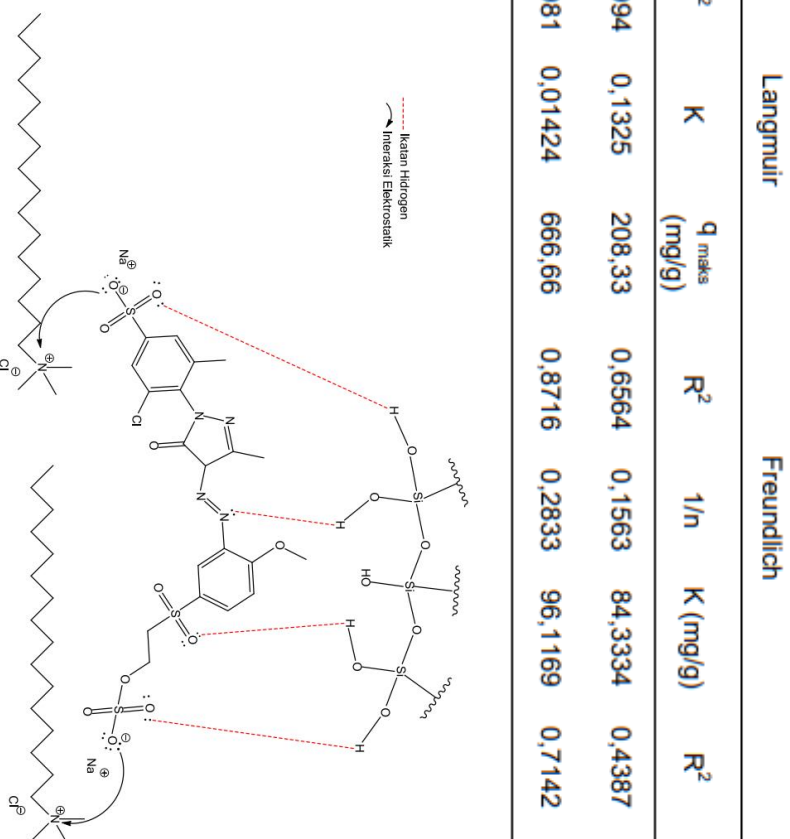


**Gambar 12.** Spektrum FTIR (a) MCM-41-TC+RK dan (b) MCM-41-C+RK



**Tabel 4.** Parameter isotherm adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41 TC dan MCM-41-C dari persamaan linear

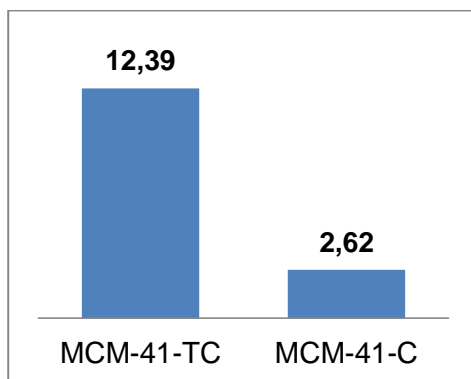
Adsorben	Langmuir		Freundlich			Sips				
	$R^2$	K	$q_{maks}$ (mg/g)	$R^2$	1/n	K (mg/g)	$R^2$	N	K (mg/g)	$q_{maks}$ (mg/g)
MCM-41-TC	0,9994	0,1325	208,33	0,6564	0,1563	84,3334	0,4387	1,2011	0,1054	207,58
MCM-41-C	0,9981	0,01424	666,66	0,8716	0,2833	96,1169	0,7142	1,1718	0,0117	658,91

**Gambar 13.** Ilustrasi interaksi antara adsorben dan zat warna remazol kuning

Zat warna remazol kuning merupakan jenis zat warna anionik. MCM-41 sebagai adsorben memiliki muatan positif pada surfaktan STAK. Gambar 13 menunjukkan perkiraan interaksi antara adsorben dan adsorbat, dimana zat warna remazol kuning memiliki sisi anionik pada  $\text{-SO}_3^-$  yang mempunyai efek elektrostatik pada sisi positif  $\text{N}^+$  yang dimiliki oleh surfaktan. Ikatan lainnya juga dimungkinkan terjadi pada interaksi antara gugus silanol yang berinteraksi dengan elektron bebas yang dimiliki oleh atom N atau O pada zat warna remazol kuning membentuk ikatan hidrogen.

### 3.5 Desorpsi Zat Warna Remazol Kuning oleh Adsorben MCM-41

Desorpsi merupakan pelepasan kembali ion/molekul yang telah berikatan dengan gugus aktif pada adsorben. Dalam proses desorpsi digunakan akuades sebagai agen pendesorpsi zat warna dan dilakukan proses desorpsi selama waktu optimum yaitu 120 menit. Persen desorpsi zat warna remazol kuning dapat dilihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.** Desorpsi zat warna remazol kuning (% Desorpsi)

Berdasarkan Gambar 19, remazol kuning dapat didesorpsi dari kedua adsorben dengan persentase desorpsi yang relatif rendah. Persentase desorpsi oleh MCM-41-TC lebih rendah karena banyaknya surfaktan yang mampu mengikat zat warna sehingga sangat sulit untuk dilakukan desorpsi. Berbeda dengan MCM-41-C surfaktannya telah dihilangkan sebagian sehingga lebih mudah untuk didesorpsi.

## **BAB IV KESIMPULAN**

### **4.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, material MCM-41 berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal yang dibuktikan dengan kesesuaian puncak pola difraksi sinar-X. Penghilangan templat dapat mempengaruhi luas permukaan, volume dan diameter pori. Kedua jenis material hasil sintesis (MCM-41-TC dan MCM-41-C) memiliki waktu kontak optimum 120 menit dan mengikuti kinetika reaksi orde dua semu dengan nilai  $k_2$  berturut-turut 0,0097 dan 0,0242 (g/mg.menit). Adsorpsi oleh kedua adsorben mengikuti adsorpsi isoterma Langmuir dengan nilai  $q_{maks}$  208,33 dan 666,67 mg/g. Adsorpsi yang terjadi dipengaruhi oleh peranan gugus silanol (Si-OH) dan gugus amonium pada surfatkan STAK.

### **4.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukannya adsorpsi dengan menggunakan variasi zat warna yang berbeda sehingga dapat diketahui selektivitas material MCM-41 pada zat warna lainnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Admi, Ramadhani F., dan Syukri, 2020, Sintesis dan Karakterisasi Enkapsulat Katalis Nikel (II) pada Silika Mesopori Modifikasi, *Jurnal Riset Kimia*, 11(2): 89-96. <https://doi.org/10.25077/jrk.v11i2.356>
- Ahmed, S., Ramli A., dan Yusup S., 2016, CO<sub>2</sub> Adsorption Study on Primary, Secondary and Tertiary Aminefunctionalized Si-MCM-41 Sohail, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(2): 230-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.05.021>
- Alahmadi, S., 2012, Modification of Mesoporous Silica MCM-41 and its Applications - A Review, *Oriental Journal Of Chemistry*, 28(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/280101>
- Albayati, T. M. dan Alkafajy A. M., 2019, Mesoporous Silica MCM-41 as a Carriers Material for Nystatine Drug in Delivery System, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 15(2): 34-43. <http://dx.doi.org/10.22153/kej.2019.11.003>
- Apriliyanto, M. R. dan Rusdarti, 2018, Analisis Penyerapan Tenaga Kerja Industri Tekstil dan Produk Tekstil di Provinsi Jawa Tengah, *Economics Development Analysis Journal*, 7(4): 374-383. <https://doi.org/10.15294/edaj.v7i4.27718>
- Ariguna, I. W. S. P., Wiratini N. M., dan Sastrawidana I. D. K., 2014, Degradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg dan Limbah Tekstil Buatan Dengan Teknik Elektrokodisasi, *Journal Kimia Visvitalis*, 2(1): 127-137. <https://doi.org/10.23887/jjpk.v1i1.4447>
- Arvianto, R. I., Mauludi K., Damayanti A. K., dan Pradipta M. F., 2019, Studi Kinetika Adsorpsi Emas Menggunakan Kulit Mangga (*Mangifera indica*) Termodifikasi Asam Sulfat, *Chimica et Natura Acta*, 7(1): 1-6. <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.19191>
- Bernal, Y. P., Alvarado J., Juárez R. L., Rojas M., M. Á., Vasconcelos, E. A., Azevedo, W. M., Iniesta, S. A., dan Cab, J. V., 2019, Synthesis and Characterization of MCM-41 Powder and its Deposition by Spin-Coating, *Optik*, 185(12): 429–440. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.03.117>
- Boukoussa, B., Hamacha R., Morsli A., Bengueddach A., 2017, Adsorption of Yellow Dye on Calcined or Uncalcined Al-MCM-41 Mesoporous Materials, *Arabian Journal of Chemistry*, 2(1): 112-157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.049>

- Chaharmahali, R., 2012, The effect of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on the Surface Chemistry, Structure and Fouling Performance of Polymeric Membranes, Tesis, The University of New South Wales, Sydney.  
<https://doi.org/10.26190/unsworks/15530>
- Christina, M., Mu'nisatun, Saptaji R., dan Marjanto D., 2007, Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA, JFN, 1(1): 31-44.  
<http://dx.doi.org/10.17146/jfn.2007.1.1.3271>
- Costa, J. A. S., Jesus R. A. D., Santos D. O., Mano, J. F., Romão L. P. C., dan Paranhos, C. M., 2020, Recent Progresses in the Adsorption of Organic, Inorganic, and Gas Compounds by MCM-41-Based Mesoporous Materials, Microporous and Mesoporous Materials, 291(2): 1-21.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.109698>
- Damajanti, N., Ma'ruf A., dan Nugraha H. K., 2021, Aplikasi Zeolit Alam Aktif Wonosari Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Yellow Fg, Proceedings Series on Physical & Formal Sciences, 1(2): 80-87.  
<https://doi.org/10.30595/pspfs.v1i.138>
- Ekinci, S. dan Guzel F., 2019, Adsorption of Toxic Indigo Carmen Dyestuff from Aqueous Solution by Chitosan and Chitosan Phthalate, Applied Chemical Engineering, 2(2): 1-7. <http://dx.doi.org/10.24294/ace.v1i2.624>
- Haironi, Kurniawati L., dan Ismillayli N., 2018, Aplikasi Kitosan Teraktivasi Asam Askorbat Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Yellow, Jurnal Kimia, 1(1): 47-59. <http://dx.doi.org/10.22487/kovalen.2019.v5.i2.12826>
- Hasanah, N., Sutarno, dan Kunarti E. S., 2018, Kajian Karakteristik MCM-41 yang Dimodifikasi Dengan Logam Zn Secara Direct Synthesis, Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia, 3(3): 183-192. <http://dx.doi.org/10.33369/rjna.v2i1.24444>
- Ho, Y. S., McKay G., Wase D. A. J., Forster C. F., 2000, Study of the Sorption of Divalent Metal Ions on to Peat, Adsorption Science & Technology, 18(7): 639-650. <http://dx.doi.org/10.1260/0263617001493693>
- Indrayani, L. dan Triswiswara M., 2018, Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Teknologi Lahan Basah Buatan, Dinamika Kerajinan dan Batik, 35(1): 23-66. <http://dx.doi.org/10.22322/dkb.v35i1.3795>

- Jannantin, R. D., Razif M., dan Mursid M., 2003, Uji Efisiensi Removal Adsorpsi Arang Batok Kelapa Untuk Mereduksi Warna dan Permanganat Value Dari Limbah Cair Industri Batik, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1): 21-35.  
<http://dx.doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- Kurniasari, L., 2010, Potensi Zeolit Alam sebagai Adsorben Air pada Alat Pengering, *Momentum*, 6(1): 15-17. <http://dx.doi.org/10.36499/jim.v6i1.128>
- Khaled, R. K., Wahba, M. A., Badry, M. D., Zawrah, M. F., dan Heikal, E. A., 2022, Highly Ordered Pure and Indium-Incorporated MCM-41 Mesoporous Adsorbents: Synthesis, Characterization and Evaluation for Dye Removal, *J Mater Sci*, 57: 4504–4527. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-022-06877-7>
- Larasati, A. I., Susanawati L. D., dan Suharto B., 2016, Efektivitas Adsorpsi Logam Berat Pada Air Lindi Menggunakan Media Karbon Aktif, Zeolit, dan Silika Gel di TPA Tlekung, Batu, *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 1(1): 44-48. <http://dx.doi.org/10.29406/ar-r.v10i1.3116>
- Manohar, D. M., Noeline B. F., dan Anirudhan T. S., 2005, Adsorption Performance of Al-Pillared Bentonite Clay For the Removal of Cobalt(II) From Aqueous Phase, *Applied Clay Science*, 31(5): 194-206.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2005.08.008>
- Manurung, R., Hasibuan R., dan Irvan, 2004, Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob, *Jurnal Teknik Kimia*, 2(1): 23-40.  
<https://doi.org/10.33795/distilat.v10i1.4920>
- Mu'in, R., Wulandari S., dan Pertiwi N. P., 2017, Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Massa Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Phospat Pada Pengolahan Limbah Laundry, *Jurnal Teknik Kimia*, 23(1): 67-76.  
<https://doi.org/10.58185/j-mestahat.v2i2.97>
- Nagappan, S., Jeon Y., Park S. S., dan Ha C. S., 2019, Hexadecyltrimethyl Ammonium Bromide Surfactant-Supported Silica Material for the Effective Adsorption of Metanil Yellow Dye, *ACS Omega*, 4(1): 8548-8558.  
<https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00533>
- Permadi, P. K., 2019, Penurunan Konsentrasi Pewarna Batik Remasol Kuning Dari Limbah Ukm Batik Putat Jaya Dengan Adsorben Karbon Aktif, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.  
<http://repository.its.ac.id/id/eprint/63089>

- Putra, D. M., 2016, Kontribusi Industri Tekstil dalam Penggunaan Bahan Berbahaya dan Beracun Terhadap Rusaknya Sungai Citarum, *Jurnal Hukum Lingkungan*, 3(1): 133-152. <https://doi.org/10.38011/jhli.v3i1.37>
- Putri, K. P., 2019, Penurunan Konsentrasi Pewarna Batik Remasol Kuning Dari Limbah Ukm Batik Putat Jaya Dengan Adsorben Karbon Aktif, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/63089>
- Prayudi, T., dan Susanto J. P., 2000, Chitosan Sebagai Bahan Koagulan Limbah Cair Industri Tekstil, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(2): 121-125. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.283>
- Ramdani, G. A., Arifin Z., dan Kasim M., 2021, Penentuan Model Kinetika Dinamis Pada Adsorpsi Limbah Cair Zat Warna Remazol Yellow Fg Artifisial Menggunakan Komposit Karbon Aktif-Kitosan, *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, 1(1): 15-22. <https://doi.org/10.46964/jimisi.v1i1.635>
- Rashed, M. N. dan El-Amin A. A., 2007, Photocatalytic Degradation of Methyl Orange in Aqueous TiO<sub>2</sub> Under Different Solar Irradiation Sources, *International Journal of Physical Sciences*, 2(3): 74-81. <https://doi.org/10.5897/IJPS.9000436>
- Reato, P. T., Todero A., Pereira F. D. O., Dallago R. M., Gusmao K. B., Mignoni M. L., 2023, Mesoporous Materials of the MCM Type: Synthesis, Application, Use of Ionic Solids and Functionalization with Graphene: A Review, *Silicon*, 1(15): 4345-4364. <https://doi.org/10.1007%2Fs12633-023-02344-3>
- Regi, M. V., Ramila A., Real R. P., dan Pariente J., 2001, A New Property of MCM-41: Drug Delivery System, *Chem. Mater*, 1(13): 308-311. <http://dx.doi.org/10.1021/cm0011559>
- Rofi'ah, F., 2016, Adsorpsi Zat Warna Indigo Carmine Menggunakan Silika Gel Berbasis Fly Ash Batu Bara Terimpregnasi Aluminium, Universitas Jember, Jember. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/78922>
- Ryoo, R., Ko C. H., dan Howe R. F., 1997, Imaging the Distribution of Framework Aluminum in Mesoporous Molecular Sieve MCM-41, *Chem. Mater*, 1(9): 1607-1613. <https://doi.org/10.1021/cm9700110>
- Shahwan, T., Erten H. N., dan Unugur S., 2006, A Characterization Study of Some Aspects of the Adsorption of Aqueous Co<sup>2+</sup> Ions on A Natural Bentonite Clay, *Journal of Colloid and Interface Science*, 30(2): 447-452. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2006.04.069>

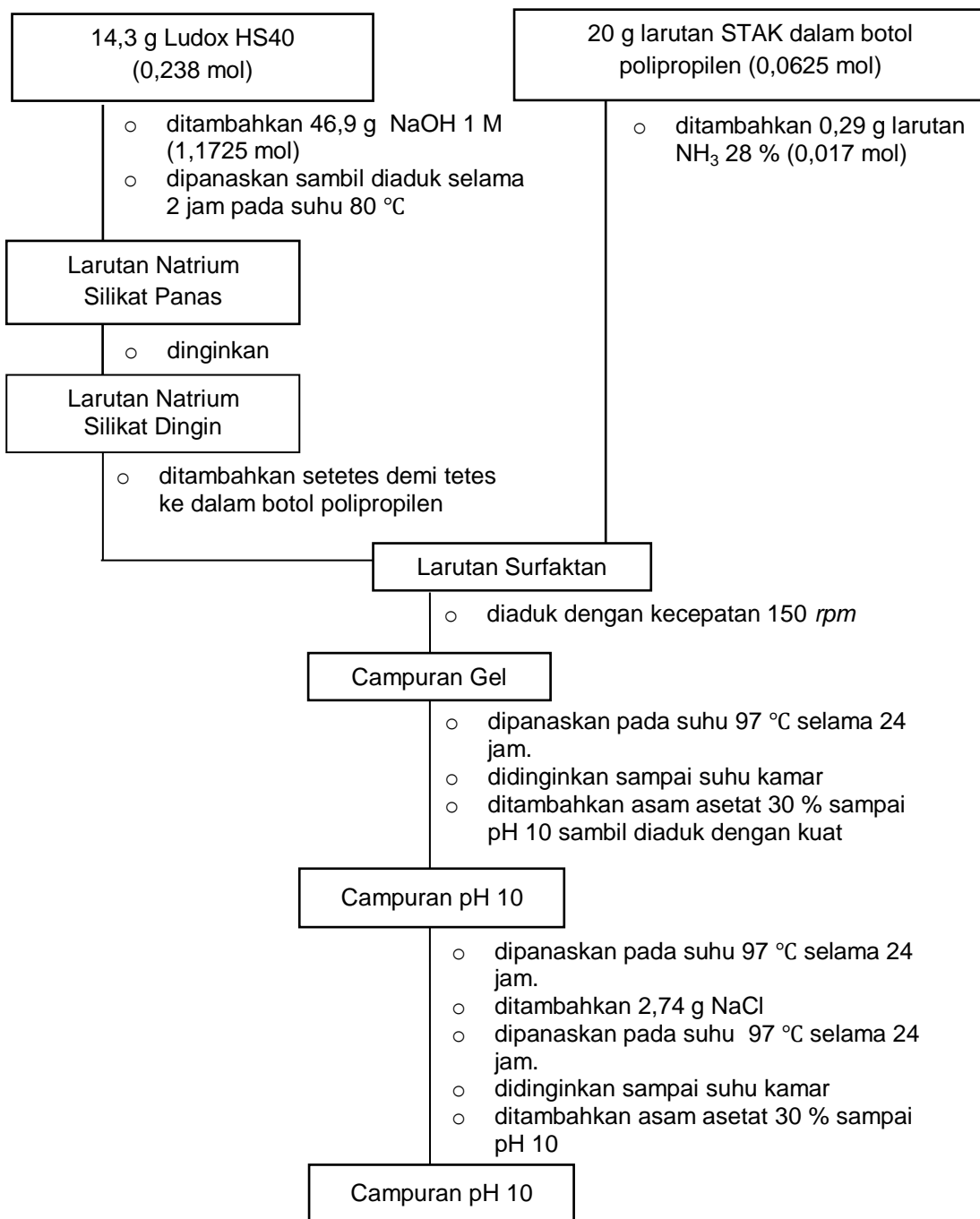
- Sianita, D. dan Nurhayati I. S., 2008, Kajian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik, Kombinasi Aerob – Anaerob dan Penggunaan Koagulan Tawas, *Jurnal Teknik Kimia*, 3(1): 1-24. <http://dx.doi.org/10.19184/wrtp.v13i3.12262>
- Susilawati, 2014, Adsorpsi Zat Warna Biru Metilena Oleh Lempung Bentonit Aktif, *Jurnal Riset Kimia*, 7(2): 169-173. <https://doi.org/10.25077/jrk.v7i2.182>
- Syauqiah, I., Amalia M., dan Kartini H., 2011, Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Arang Aktif, *Info Teknik*, 12(1): 11-20. <http://dx.doi.org/10.20527/infotek.v12i1.1773.g1545>
- Taba, P., 2008, Adsorption of Water and Benzene Vapour in Mesoporous Materials, *Makara, Sains*, 12(2): 120-125. <https://scholarhub.ui.ac.id/science/vol12/iss2/24>
- Tahad, A. dan Sanjaya A. S., 2017, Isoterm Freundlich, Model Kinetika dan Penentuan Laju Reaksi Adsorpsi Besi Dengan Arang Aktif Dari Ampas Kopi, *Jurnal Chemurgy*, 1(2): 13-21. <http://dx.doi.org/10.30872/cmg.v1i2.1140>
- Tengker, S. M. T., dan Falah, I. I., 2017, Sintesis dan Karakterisasi Material Mesopori MCM-41 Menggunakan TMAOH dan Garam Anorganik  $K_2SO_4$ , *Fullerene Journal of Chemistry*, 2(2): 61-65. <https://doi.org/10.37033/fjc.v2i2.10>
- Udyani, K., 2010, Adsorpsi Detergen Dalam Air Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Pada Kolom Fluidisasi BED, *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1): 326-335. <http://dx.doi.org/10.29103/jtku.v7i1.1173>
- Widjajanti, E., Tutik R., dan Utomo M. P., 2011, Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah dan Metil Jingga, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 14 Mei 2011. <https://scholarhub.uny.ac.id/science/vol20/iss05/11>
- Wijayanti, I. E. dan Kurniawati E. A., 2019, Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Abu Gosok Sebagai Adsorben, *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2): 175-184. <http://dx.doi.org/10.30870/educemia.v4i2.6119>
- Yahaya, N. K., Latiff M. F. P. M., Abustan A., Bello O. S., Ahmad M. A., 2011, Adsorptive Removal of Cu(II) Using Activated Carbon Prepared from Rice Husk by  $ZnCl_2$  Activation and Subsequent Gasification with  $CO_2$ , *International Journal of Engineering & Technology*, 11(1): 207-2011. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.3c01685>

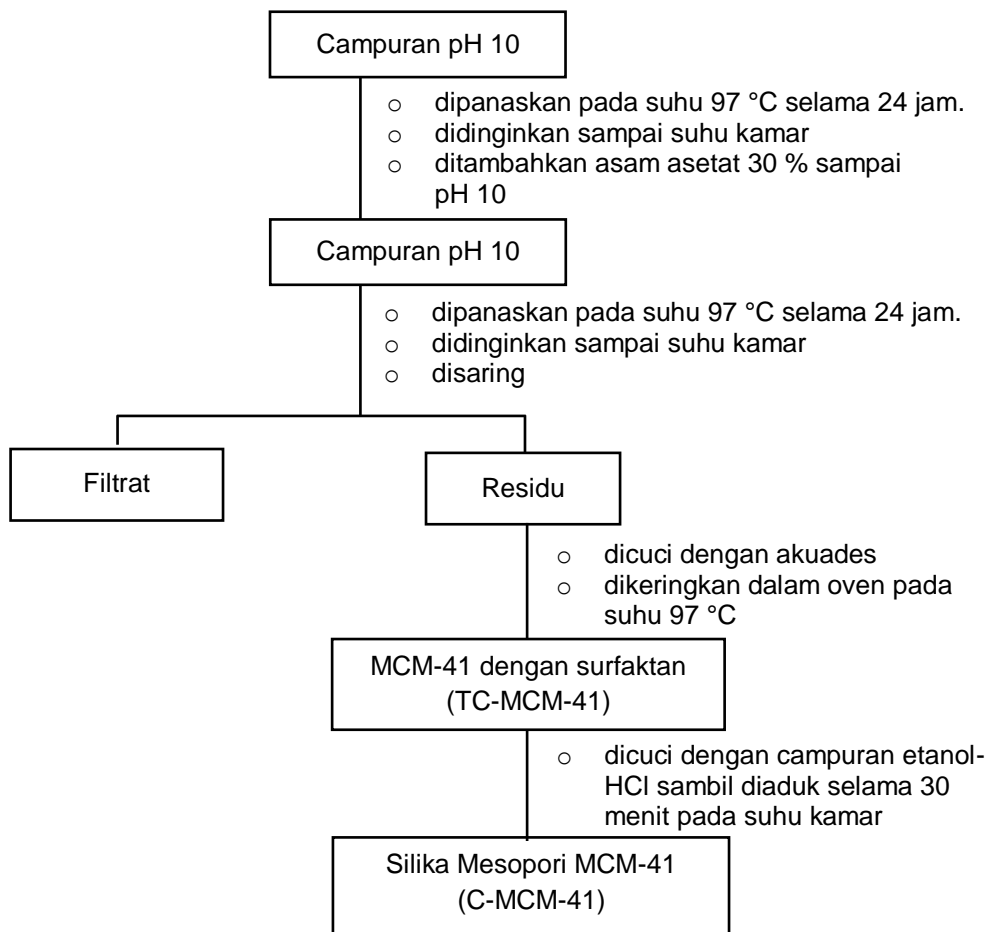


Yuliusman, Purwanto W. W., dan Nugroho Y. S., 2013, Pemilihan Adsorben Untuk Penjerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir, *Reaktor*, 14(3): 225-233.  
<https://doi.org/10.14710/reaktor.14.3.225-233>

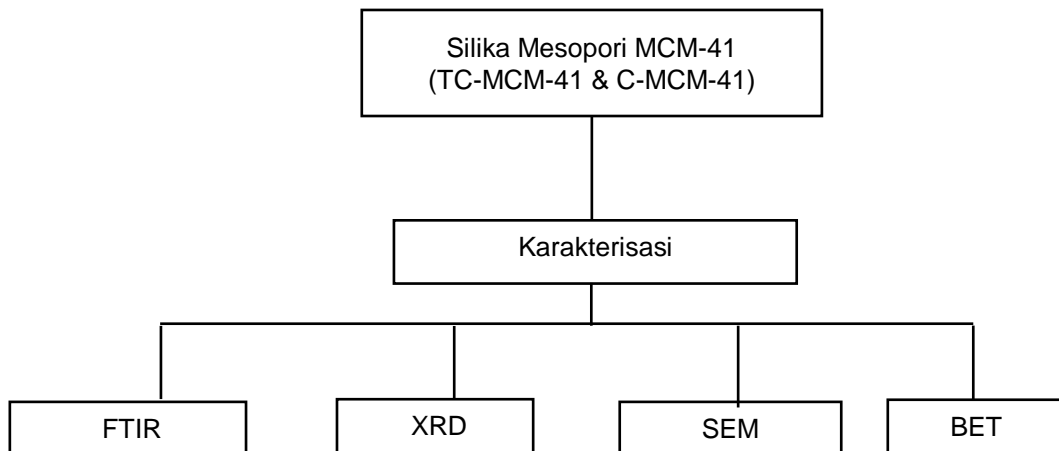
## Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian

### 1. Sintesis Silika Mesopori MCM-41

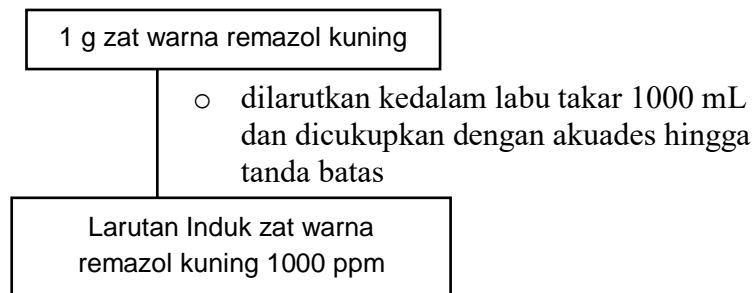




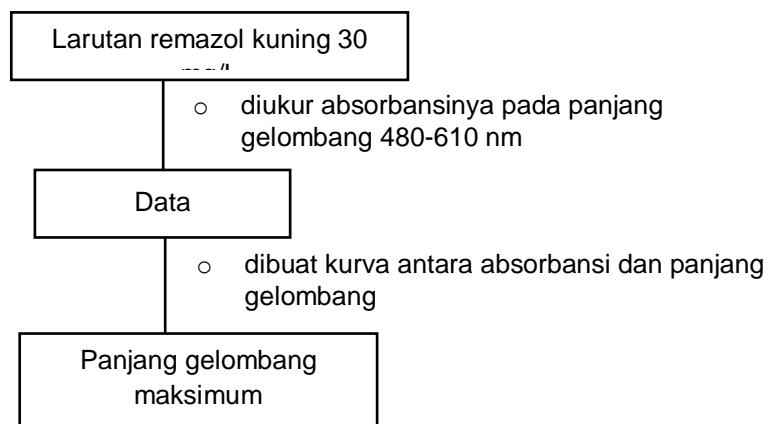
## 2. Karakterisasi Silika Mesopori MCM-41



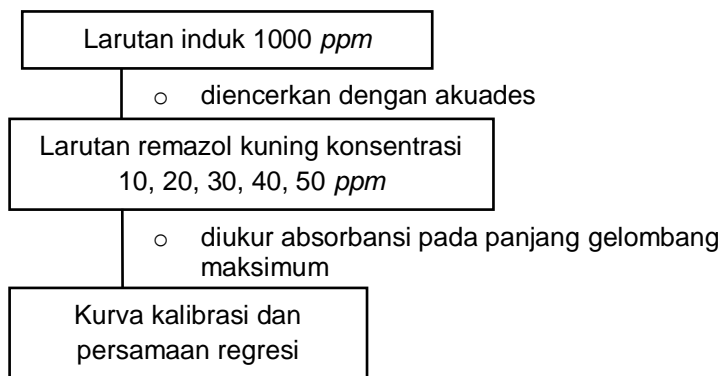
### 3. Pembuatan Larutan Induk Remazol Kuning



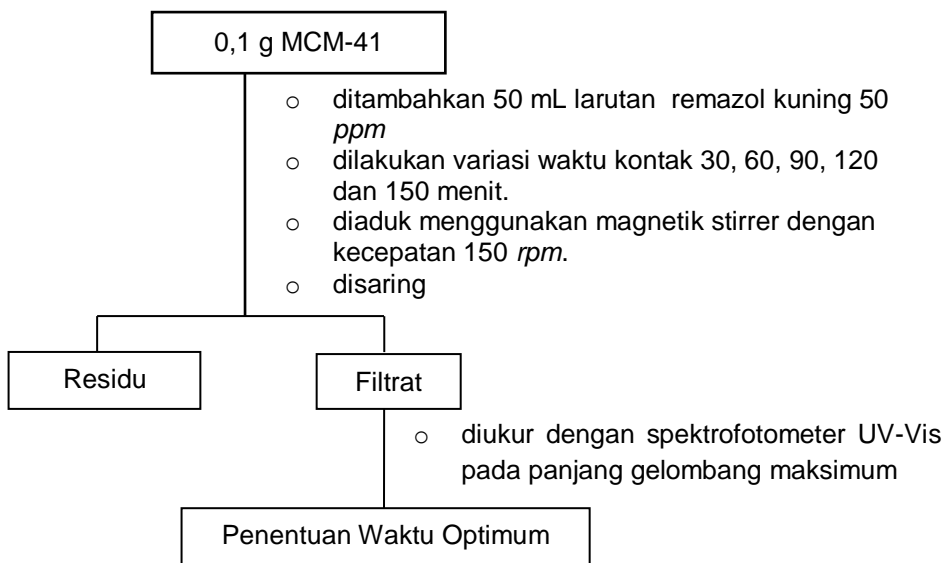
### 4. Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



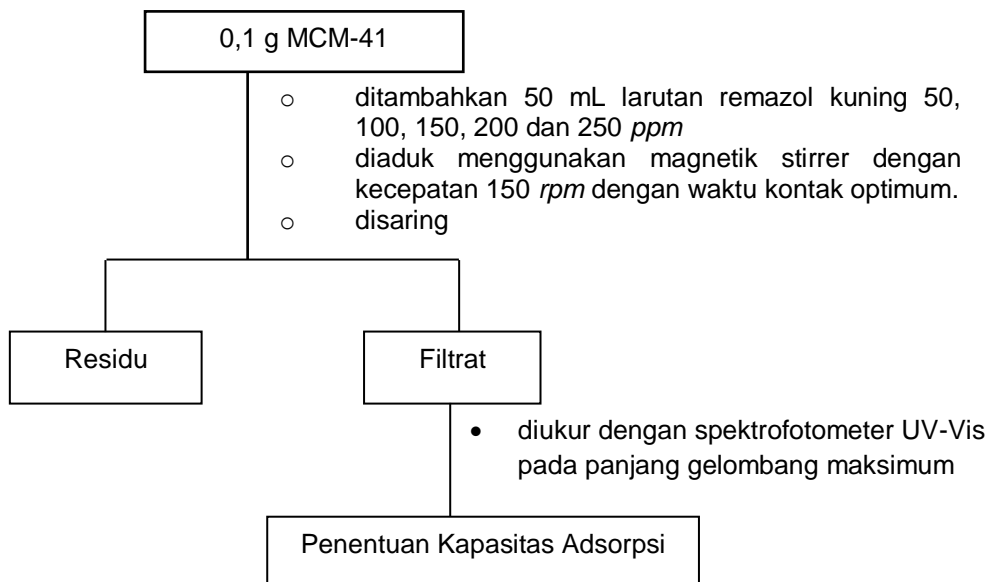
### 5. Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Standar Zat Warna Remazol Kuning



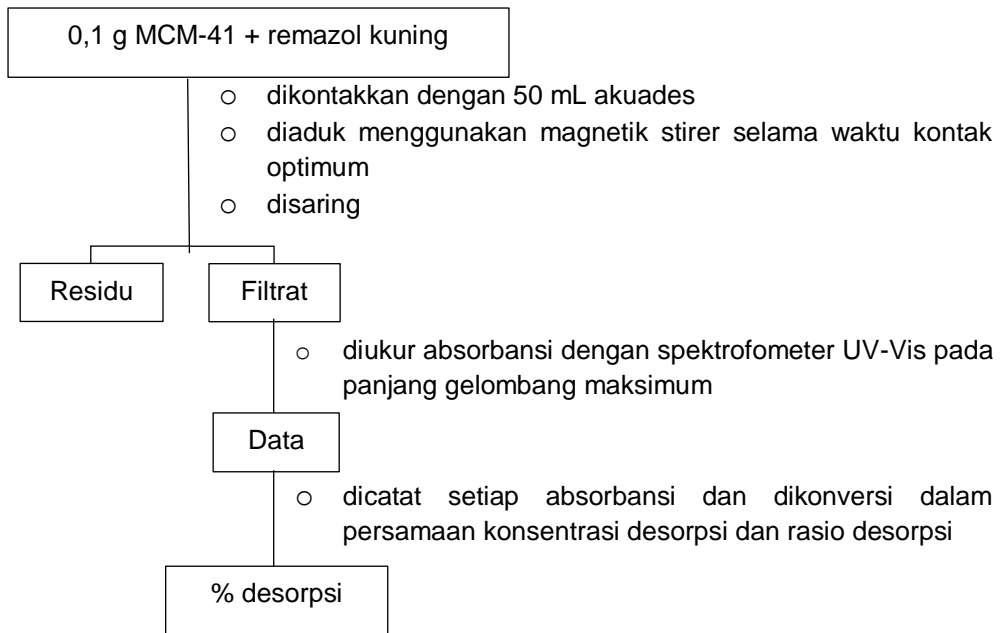
## 6. Penentuan Waktu Kontak Optimum



## 7. Penentuan Kapasitas Adsorpsi



## 8. Desorpsi Zat Warna Remazol Kuning



## Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian

### Sintesis silika mesopori MCM-41



Pembuatan natrium silika



Pemanasan pada suhu 80°C



Pencampuran larutan natrium silika dan surfaktan



Pemanasan pada suhu 97°C



Pengaturan pH 10



Penyaringan dengan akuades



MCM-41-TC

Penghilangan surfaktan dengan pencucian HCl-etanol satu kali



Pengadukan selama  
30 menit



Penyaringan dengan  
akuades



MCM-41-C

Proses adsorpsi



Waktu kontak  
MCM-41-TC-RK



Waktu kontak  
MCM-41-C-RK



Variasi konsentrasi  
MCM-41-TC-RK



Variasi konsentrasi  
MCM-41-C-RK

Proses desorpsi



Desorpsi zat warna  
Remazol Kuning



## Lampiran 3. Karakterisasi XRD

## Match! Phase Analysis Report

Sample: MCM-41-C-MHD (2-80)

<b>Sample Data</b>	
File name	MCM-41-C-MHD.RAW
File path	C:/Users/MSI.MODERN/Documents/xrd/MCM/MCM-41-C-MHD
Data collected	Dec 5, 2022 12:05:45
Data range	2.000° - 80.000°
Original data range	2.000° - 80.000°
Number of points	7801
Step size	0.010
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540600 Å

## Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I <sub>0</sub> (peak height)	Counts (peak area)	FWHM
1	6.73	13.1234	39.15	1.93	0.3200
2	22.01	4.0352	697.64	34.37	0.3200
3	44.31	2.0426	56.25	2.77	0.3200
4	64.64	1.4408	104.88	5.17	0.3200
5	77.67	1.2284	149.60	6.45	0.2800

## Integrated Profile Areas

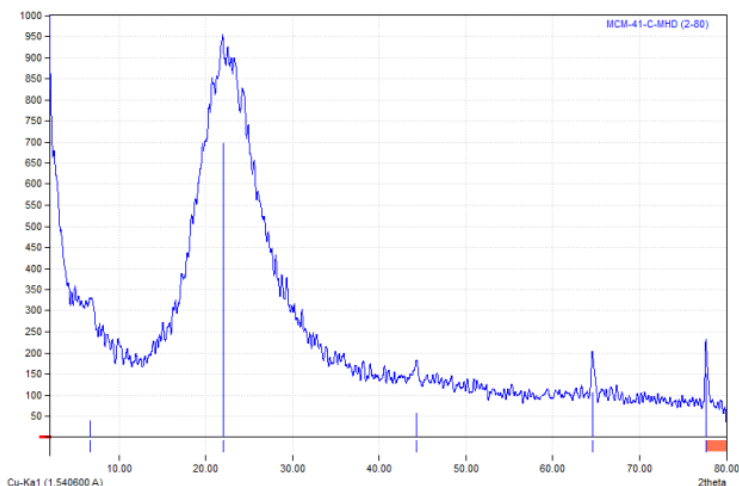
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	221687	100.00%
Background radiation	150514	67.89%
Diffraction peaks	71173	32.11%
Peak area belonging to selected phases	0	0.00%
Unidentified peak area	71173	32.11%

## Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	51	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	30	58.25%
Unidentified peak intensity	21	41.75%

## Diffraction Pattern Graphics



# Match! Phase Analysis Report

Sample: MCM-41-TC-MHD (2-80)

## Sample Data

File name	MCM-41-TC-MHD_RAW
File path	C:/Users/MSI MODERN/Documents/xrd/MCM/MCM-41-TC-MHD
Data collected	Dec 5, 2022 12:05:45
Data range	2.000° - 80.000°
Original data range	2.000° - 80.000°
Number of points	7801
Step size	0.010
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	No
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540600 Å

## Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I <sub>0</sub> (peak height)	Counts (peak area)	FWHM
1	5.86	15.0697	22.47	19.63	6.8400
2	21.85	4.0644	1000.00	370.35	2.9000
3	44.07	2.0532	25.89	18.20	5.5039
4	64.72	1.4392	49.12	10.73	1.7103
5	77.64	1.2288	53.30	15.46	1.7103

## Integrated Profile Areas

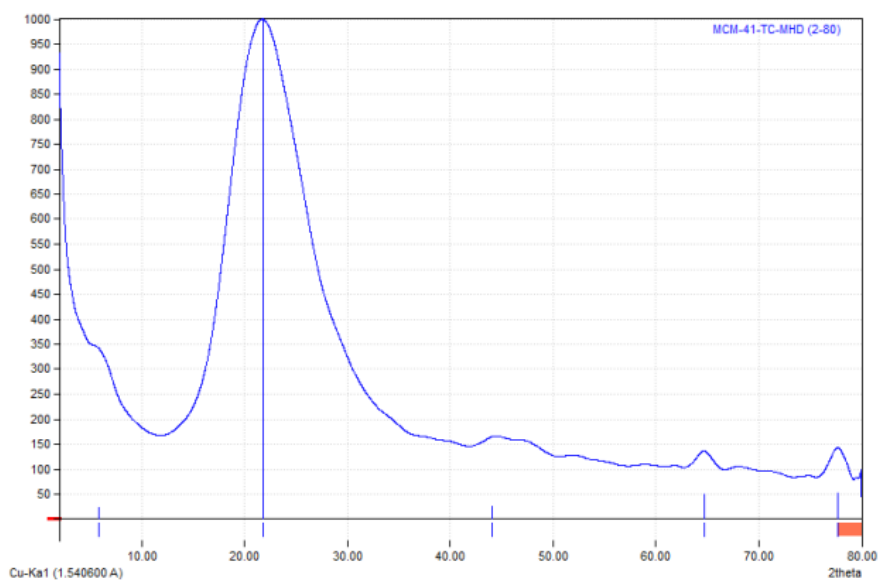
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	260564	100.00%
Background radiation	173352	66.53%
Diffraction peaks	87212	33.47%
Peak area belonging to selected phases	0	0.00%
Unidentified peak area	87212	33.47%

## Peak Residuals

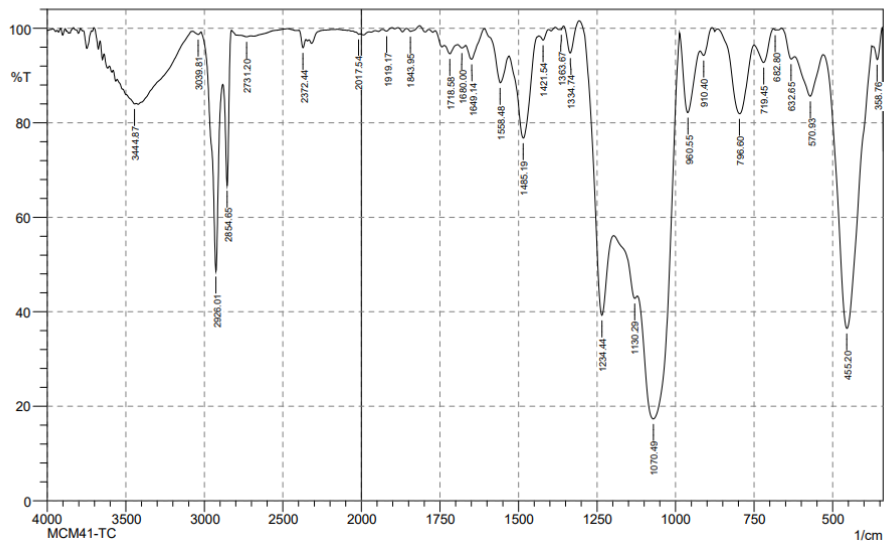
Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	434	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	0	0.00%
Unidentified peak intensity	434	100.00%

## Diffraction Pattern Graphics



## Lampiran 4. Karakterisasi FTIR

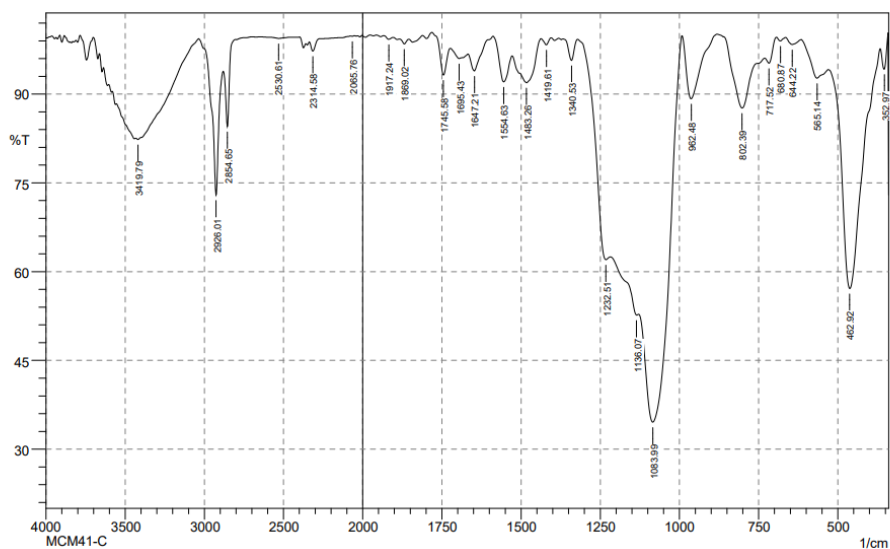
MCM-41-TC

 SHIMADZU


No.	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	358.76	93.346	4.552	372.26	341.4	0.552	0.3
2	455.2	36.481	58.8	528.5	376.12	29.59	26.421
3	570.93	85.609	8.621	621.08	530.42	4.19	1.843
4	632.65	93.492	2.147	663.51	621.08	0.705	0.137
5	682.8	99.618	0.305	688.59	663.51	0.029	0.024
6	719.45	92.747	5.34	748.38	688.59	1.194	0.718
7	796.6	81.899	15.903	866.04	750.31	4.832	3.867
8	910.4	94.24	2.503	921.97	885.33	0.579	0.197
9	960.55	82.145	14.87	985.62	923.9	3.278	2.365
10	1070.49	17.329	46.962	1120.64	987.55	62.758	38.627
11	1130.29	42.816	1.863	1195.87	1122.57	21.948	0.22
12	1234.44	39.239	32.304	1305.81	1197.79	21.44	8.546
13	1334.74	94.756	6.183	1355.96	1305.81	0.386	0.607
14	1363.67	99.709	0.278	1367.53	1355.96	-0.002	0.004
15	1421.54	97.489	1.502	1435.04	1404.18	0.218	0.093
16	1485.19	76.746	19.383	1529.55	1435.04	5.648	4.092
17	1558.48	88.473	7.687	1606.7	1531.48	2.104	1.063
18	1649.14	93.454	3.958	1666.5	1608.63	0.967	0.504
19	1680	95.815	0.635	1693.5	1668.43	0.431	0.038
20	1718.58	94.574	1.863	1735.93	1693.5	0.814	0.148
21	1843.95	99.313	0.823	1855.52	1815.02	0.041	0.087
22	1919.17	99.389	0.54	1932.67	1903.74	0.04	0.032
23	2017.54	98.737	0.206	2056.12	2007.9	0.195	0.01
24	2372.44	95.881	2.597	2397.52	2353.16	0.495	0.223
25	2731.2	98.195	0.243	2775.57	2702.27	0.53	0.034
26	2854.65	66.694	27.142	2881.65	2827.64	4.675	3.194
27	2926.01	48.541	43.015	3020.53	2883.58	14.893	10.85
28	3039.81	98.694	0.579	3076.46	3020.53	0.245	0.072
29	3444.87	83.974	0.509	3554.81	3435.22	7.792	0.28

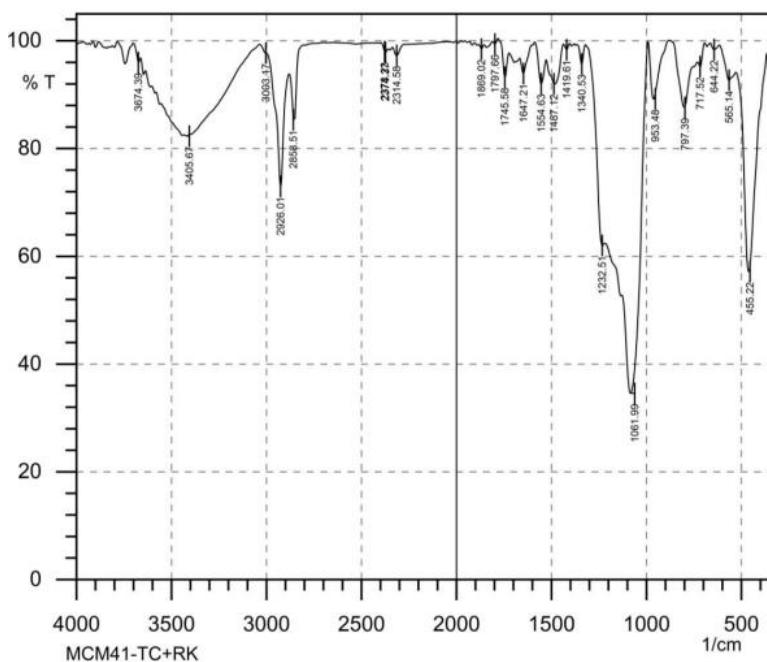
MCM-41-C

SHIMADZU



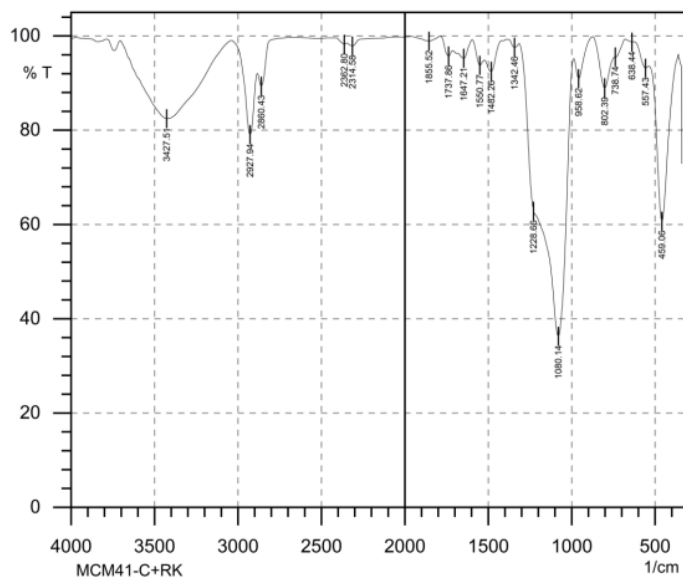
No.	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	352.97	94.222	4.89	366.48	341.4	0.415	0.306
2	462.92	57.153	38.407	528.5	366.48	17.193	14.248
3	565.14	92.689	3.528	615.29	530.42	1.938	0.658
4	644.22	98.381	1.038	665.44	615.29	0.257	0.124
5	680.87	98.977	0.615	694.37	665.44	0.09	0.039
6	717.52	95.221	2.151	731.02	694.37	0.522	0.172
7	802.39	87.659	10.291	881.47	732.95	3.945	2.679
8	962.48	89.223	10.679	991.41	883.4	2.395	2.379
9	1083.99	34.563	33.668	1128.36	993.34	38.595	20.074
10	1136.07	52.664	0.763	1217.08	1130.29	20.555	0.066
11	1232.51	62.019	5.326	1321.24	1219.01	9.797	0.865
12	1340.53	95.686	3.601	1367.53	1321.24	0.441	0.298
13	1419.61	98.316	1.128	1436.97	1404.18	0.154	0.074
14	1483.26	91.928	3.295	1502.55	1436.97	1.662	0.642
15	1554.63	92.066	5.797	1587.42	1529.55	1.265	0.762
16	1647.21	93.929	3.597	1666.5	1604.77	1.005	0.468
17	1695.43	96.007	0.543	1724.36	1685.79	0.562	0.041
18	1745.58	93.223	5.525	1780.3	1724.36	0.743	0.515
19	1869.02	98.472	0.809	1884.45	1853.59	0.142	0.046
20	1917.24	99.249	0.472	1932.67	1903.74	0.063	0.029
21	2065.76	99.763	0.076	2077.33	2052.26	0.021	0.004
22	2314.58	97.278	1.719	2337.72	2270.22	0.48	0.211
23	2530.61	99.398	0.239	2646.34	2438.02	0.4	0.074
24	2854.65	84.523	11.101	2879.72	2804.5	2.206	1.144
25	2926.01	72.954	22.478	3035.96	2881.65	7.122	4.757
26	3419.79	82.317	0.79	3433.29	3037.89	18.204	1.492

## MCM-41-TC+ Remazol Kuning

No	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	455.2158	57.15308	58.8	528.5	376.12	0.552	0.3
2	565.3333	92.69376	8.675	621.89	534.76	5.657	1.87
3	643.0222	98.64839	2.878	665.43	631.96	0.87	0.321
4	712.5333	95.47259	6.213	765.125	688.621	1.098	0.459
5	798.4	87.93006	16.761	855.134	785.24	5.258	3.675
6	961.9556	89.71645	13.568	986.209	986.21	3.561	2.871
7	1061.995	34.56338	45.96	1121.65	987.7	62.65	38.543
8	1232.513	62.01863	32.304	1305.87	1198.87	23.99	8.564
9	1342.222	95.86957	5.715	1355.27	1309.12	0.376	0.514
10	1419.911	98.44991	1.659	1354.012	1407.65	0.2	0.089
11	1481.244	92.29679	18.526	1654.88	1456.1	5.987	3.091
12	1550.756	92.29679	7.346	1606.8	1541.09	2.659	1.263
13	1648.889	94.67864	3.156	1666.67	1609.54	0.965	0.808
14	1742.933	93.28922	1.98	1765.98	1678.1	0.898	0.177
15	1796.089	99.44234	1.99	1767.99	1711.2	0.972	0.202
16	1869.689	98.64839	0.822	1799.31	1810.09	0.0321	0.098
17	2376.711	97.85444	2.659	2397.87	2365.18	0.1467	0.2245
18	2858.505	85.35365	27.154	2881.87	2827.12	4.675	3.195
19	2926.014	72.95429	43.015	3021.01	2883.78	14.897	10.89
20	3405.671	82.30687	0.609	3020.87	2889.1	14.87	0.021
21	3672.889	95.86957	0.587	2999.01	2799.01	13.98	0.076
22	3002.311	97.45747	0.521	2889.09	2780.06	13.76	0.879
23	3742.4	95.67108	0.409	2786.08	2777.87	12.766	0.986

## MCM-41-C+ Remazol Kuning



No	Peak	Intensiy	Corr. Intensiy	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	459.0222222	61.1342155	48.095	3061.01	2983.787	18.897	14.89
2	561.2444444	93.28922495	18.526	1654.88	1456.1	5.987	3.091
3	643.0222222	98.84688091	3.156	1666.67	1609.54	0.965	0.808
4	737.0666667	95.47258979	12.878	1665.43	1631.96	0.872	0.981
5	802.4888889	89.12098299	6.213	765.125	688.621	1.098	0.959
6	953.7777778	91.30434783	45.96	1121.65	987.7	62.65	38.543
7	1080.13696	36.30713181	30.351	105.88	1458.17	93.19	18.134
8	1227.733333	63.11909263	32.304	1305.87	1198.87	23.99	8.564
9	1342.222222	97.65595463	80.677	621.89	534.76	5.657	1.87
10	1485.333333	92.4952741	1.888	665.43	631.96	0.87	0.321
11	1550.755556	93.88468809	16.761	855.134	785.24	5.258	3.675
12	1640.711111	95.47258979	13.568	986.209	986.21	3.561	2.871
13	1738.844444	96.06805293	58.8	528.5	376.12	0.552	0.3
14	1861.511111	99.04536862	16.99	109.19	1761.2	0.972	0.202
15	2311.288889	97.85444234	7.346	1606.8	1541.09	2.659	1.263
16	2364.444444	98.05293006	3.156	1666.67	1609.54	0.965	0.808
17	2859.2	89.51795841	13.568	986.209	986.21	3.561	2.871
18	2927.942688	79.08304233	0.609	3020.87	2889.1	14.87	0.021
19	3412.567765	82.48565405	0.822	1799.31	1810.09	0.0321	0.098

## Lampiran 5. Karakterisasi BET

MCM-41-TC



TriStar II Plus 3.01

TriStar II Plus Version 3.01  
Serial # 1080 Unit 1 Port 3

Page 1 of 15

Started: 6/26/2023 3:05:24 PM	Analysis adsorptive: N2
Completed: 6/26/2023 7:55:34 PM	Analysis bath temp.: -195,850 °C
Report time: 6/27/2023 7:44:57 AM	Thermal correction: No
Sample mass: 0,0315 g	Ambient free space: 10,9395 cm <sup>3</sup> Measured
Analysis free space: 31,3861 cm <sup>3</sup>	Equilibration interval: 10 s
Low pressure dose: None	Sample density: 1,000 g/cm <sup>3</sup>
Automatic degas: No	

### Summary Report

#### Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0,274088768: 93,5275 m<sup>2</sup>/g

BET Surface Area: 114,4411 m<sup>2</sup>/g

#### Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores  
less than 384,1792 nm diameter at P/Po = 0,995000000: 0,102834 cm<sup>3</sup>/g

#### Pore Size

Adsorption average pore diameter (4V/A by BET): 3,5943 nm

Desorption average pore diameter (4V/A by BET): 2,7985 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 3,7918 nm



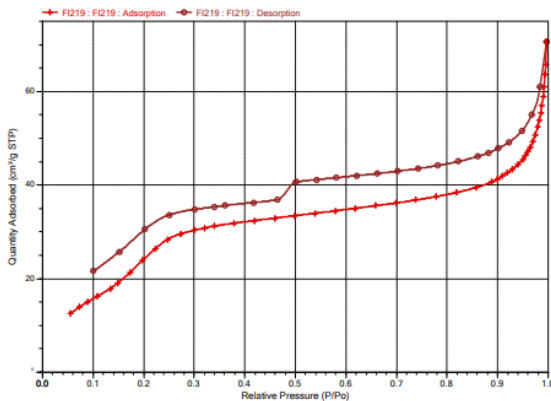
TriStar II Plus 3.01

TriStar II Plus Version 3.01  
Serial # 1080 Unit 1 Port 3

Page 5 of 15

Started: 6/26/2023 3:05:24 PM	Analysis adsorptive: N2
Completed: 6/26/2023 7:55:34 PM	Analysis bath temp.: -195,850 °C
Report time: 6/27/2023 7:44:57 AM	Thermal correction: No
Sample mass: 0,0315 g	Ambient free space: 10,9395 cm <sup>3</sup> Measured
Analysis free space: 31,3861 cm <sup>3</sup>	Equilibration interval: 10 s
Low pressure dose: None	Sample density: 1,000 g/cm <sup>3</sup>
Automatic degas: No	

### Isotherm Linear Plot



MCM-41-C



TriStar II Plus 3.01

TriStar II Plus Version 3.01  
Serial # 1080 Unit 1 Port 2

Page 1 of 15

Started: 6/26/2023 3:05:24 PM	Analysis adsorptive: N2
Completed: 6/26/2023 7:55:34 PM	Analysis bath temp.: -195,850 °C
Report time: 6/27/2023 7:44:26 AM	Thermal correction: No
Sample mass: 0.0320 g	Ambient free space: 10.9358 cm <sup>3</sup> Measured
Analysis free space: 31.4049 cm <sup>3</sup>	Equilibration interval: 10 s
Low pressure dose: None	Sample density: 1,000 g/cm <sup>3</sup>
Automatic degas: No	

Summary Report

Surface Area

Single point surface area at P/Po = 0,295927792: 373,8938 m<sup>2</sup>/g

BET Surface Area: 402,4458 m<sup>2</sup>/g

Pore Volume

Single point adsorption total pore volume of pores less than 384,1792 nm diameter at P/Po = 0,995000000: 0,300895 cm<sup>3</sup>/g

Pore Size

Adsorption average pore diameter (4V/A by BET): 2,9907 nm

Desorption average pore diameter (4V/A by BET): 2,7593 nm

BJH Desorption average pore diameter (4V/A): 2,8148 nm



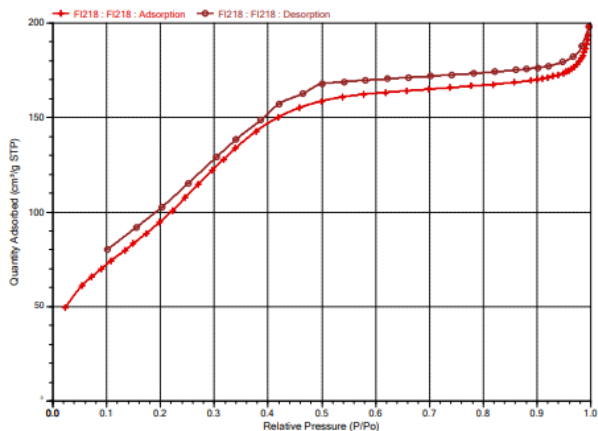
TriStar II Plus 3.01

TriStar II Plus Version 3.01  
Serial # 1080 Unit 1 Port 2

Page 5 of 15

Started: 6/26/2023 3:05:24 PM	Analysis adsorptive: N2
Completed: 6/26/2023 7:55:34 PM	Analysis bath temp.: -195,850 °C
Report time: 6/27/2023 7:44:26 AM	Thermal correction: No
Sample mass: 0.0320 g	Ambient free space: 10.9358 cm <sup>3</sup> Measured
Analysis free space: 31,4049 cm <sup>3</sup>	Equilibration interval: 10 s
Low pressure dose: None	Sample density: 1,000 g/cm <sup>3</sup>
Automatic degas: No	

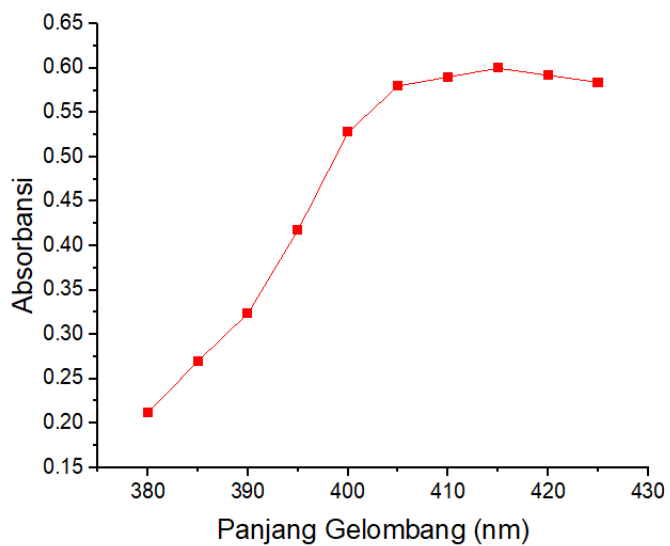
Isotherm Linear Plot





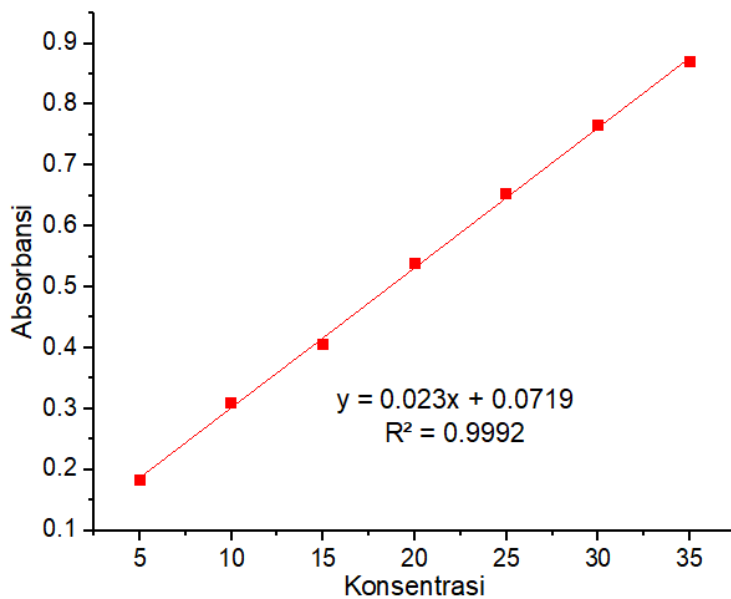
**Lampiran 6.** Data penentuan panjang gelombang maksimum remazol kuning dengan konsentrasi 20 mg/L.

Panjang Gelombang (nm)	Absorbansi
380	0,212
385	0,270
390	0,324
395	0,418
400	0,528
405	0,580
410	0,590
<b>415</b>	<b>0,600</b>
420	0,592
425	0,584



**Lampiran 7.** Data absorbansi kurva standar larutan remazol kuning

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
10	0.144
20	0.308
30	0.464
40	0.636
50	0.79



**Lampiran 8.** Penentuan waktu optimum adsorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC

Waktu kontak (menit)	C <sub>o</sub> (mg/L)	C <sub>e</sub> (mg/L)	Jumlah adsorben (g)	Jumlah Remazol Kuning yang diadsorpsi, q <sub>e</sub> (mg/g)
5	161.78	24.61304348	0.1	68.58347826
10	161.78	16.7	0.1	72.54
15	161.78	11.9173913	0.1	74.93130435
30	161.78	2.743478261	0.1	79.51826087
45	161.78	2.134782609	0.1	79.8226087
60	161.78	0.613043478	0.1	80.58347826
90	161.78	0.004347826	0.1	80.88782609
<b>120</b>	<b>161.78</b>	<b>-2.3</b>	<b>0.1</b>	<b>82.04</b>
180	161.78	-2.169565217	0.1	81.97478261
270	161.78	-1.995652174	0.1	81.88782609

Contoh perhitungan remazol kuning yang teradsorpsi pada t = 120 menit

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) V}{m}$$

$$q_e = \frac{(161,78 \text{ mg/L} - (-2,3) \text{ mg/L})0,05 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$q_e = 82,04 \text{ mg/g}$$

**Lampiran 9.** Data studi kinetika adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC

Waktu Kontak (menit)	$q_e$ (mg/g)	$q_t$ (mg/g)	$q_t - q_e$ (mg/g)	$\ln (q_t - q_e)$	$t/q_e$
5	68.58347826	82.04	13.45652174	2.599463876	0.072903856
10	72.54	82.04	9.5	2.251291799	0.137854977
15	74.93130435	82.04	7.108695652	1.961318774	0.200183356
30	79.51826087	82.04	2.52173913	0.924948795	0.377271833
45	79.8226087	82.04	2.217391304	0.796331417	0.563750054
60	80.58347826	82.04	1.456521739	0.376051223	0.744569499
90	80.88782609	82.04	1.152173913	0.141650517	1.112651982
120	82.04	82.04	0	0	1.462701121
180	81.97478261	82.04	0.065217391	-2.730029108	2.195797223
270	81.88782609	82.04	0.152173913	-1.882731247	3.297193403

Dari grafik kinetika orde satu semu diperoleh persamaan garis :

$$y = -0,018x + 1,9326$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = -0,018 dan nilai *intercept* (b) = 1,9326

nilai  $k_1$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$K = -\text{Slope}$$

$$k_1 = 0,018 \text{ menit}^{-1};$$

$$\log q_e = \text{intercept}$$

$$\log q_e = 1,9326$$

$$q_e = 85.6248 \text{ mg/g}$$

$$R^2 = 0,8232$$

Dari grafik kinetika orde dua semu diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,0121x + 0,015$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,0121 dan nilai *intercept*

(b) = 0,015

$$\text{slope} = \frac{1}{q_e}$$

$$q_e = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,0121} = 82,646 \text{ mg/g}$$

nilai  $k_2$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_2 = \text{Slope}^2 / \text{intercept}$$

$$k_2 = (0,0121)^2 / 0,015$$

$$= 0.0097606 \text{ g/mg min}^{-1}$$

$$R^2 = 1$$

**Lampiran 10.** Penentuan waktu optimum adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C

Waktu Kontak (menit)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Jumlah Adsorben (gram)	Jumlah Remazol Kuning yang diadsorpsi qe (mg/g)
5	517.3	71.65652174	0.1	222.8217391
10	517.3	67.30869565	0.1	224.9956522
15	517.3	65.56956522	0.1	225.8652174
30	517.3	62.96086957	0.1	227.1695652
45	517.3	61.22173913	0.1	228.0391304
60	517.3	60.35217391	0.1	228.473913
90	517.3	59.04782609	0.1	229.126087
<b>120</b>	<b>517.3</b>	<b>58.61304348</b>	<b>0.1</b>	<b>229.3434783</b>
180	517.3	58.9173913	0.1	229.1913043
270	517.3	59.26521739	0.1	229.0173913

Contoh perhitungan remazol kuning yang teradsorpsi pada t = 120 menit

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

$$q_e = \frac{(517,3 \text{ mg/L} - 58,613 \text{ mg/L})0,05 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$q_e = 229.3435 \text{ mg/g}$$

Lampiran 11. Data studi kinetika adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C

Waktu Kontak (menit)	$q_e$ (mg/g)	$q_t$ (mg/g)	$q_t - q_e$ (mg/g)	$\ln (q_t - q_e)$	$t/q_e$
5	222.8217391	229.7782609	6.95652177	1.939679604	0.022439462
10	224.9956522	229.7782609	4.782608726	1.564986156	0.044445303
15	225.8652174	229.7782609	3.913043509	1.364315462	0.066411288
30	227.1695652	229.7782609	2.608695683	0.958850358	0.132059944
45	228.0391304	229.7782609	1.739130465	0.553385256	0.197334554
60	228.473913	229.7782609	1.304347857	0.265703189	0.262612038
90	229.126087	229.7782609	0.652173943	-0.427443968	0.392796827
120	229.3434783	229.7782609	0	0	0.523232668
180	229.1913043	229.7782609	0.586956552	-0.532804479	0.78537011
270	229.0173913	229.7782609	0.760869596	-0.273293295	1.178949766

Dari grafik kinetika orde satu semu diperoleh persamaan garis :

$$y = -0,0081x + 1,2093$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = -0,0081 dan nilai *intercept*

$$(b) = 1,2093$$

nilai  $k_1$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_1 = -\text{slope}$$

$$k_1 = 0,0081 \text{ menit}^{-1};$$

$$\log q_e = \text{intercept}$$

$$\log q_e = 1,2093$$

$$q_e = 16,19198 \text{ mg/g}$$

$$R^2 = 0,6256$$

Dari grafik kinetika orde dua semu diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,0044x + 0,0008$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,0044 dan nilai *intercept* (b) = 0,0008

$$\text{slope} = \frac{1}{q_e}$$

$$q_e = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,0044} = 227.2727 \text{ mg/g}$$

nilai  $k_2$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_2 = \text{Slope}^2 / \text{intercept}$$

$$k_2 = (0,0044)^2 / 0,0008$$

$$= 0.0242 \text{ g/mg min}^{-1}$$

$$R^2 = 1$$



**Lampiran 12.** Penentuan kapasitas adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC

$C_o$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$m$ (g)	$q_e$ (mg/g)	$C_e/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
204.39	8.17826087	0.1	98.10586957	0.083362	0.912661	1.991695
301.78	29.4826087	0.1	136.1486957	0.216547	1.469566	2.134013
<b>451.34</b>	<b>38.17826087</b>	<b>0.1</b>	<b>206.5808696</b>	<b>0.18481</b>	<b>1.581816</b>	<b>2.31509</b>
673.086	264.3913043	0.1	204.3473478	1.293833	2.422247	2.310369
998.346	590.4782609	0.1	203.9338696	2.89544	2.771204	2.309489

Contoh perhitungan RBBR yang teradsorpsi ( $q_e$ ) pada konsentrasi

( $C_o$ ) 204,39 mg/L :

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

$$q_e = \frac{(204,39 \text{ mg/L} - 8,178260 \text{ mg/L})0,05 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$q_e = 98.10587 \text{ mg/g}$$

### Lampiran 13. Isoterm adsorpsi MCM-41-TC

#### 1. Isoterm adsorpsi langmuir bentuk linear

Berdasarkan model isotermal Langmuir diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,0048x + 0,0362$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,0048 dan nilai *intercept*

$$(b) = 0,0362$$

Nilai kapasitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q_{\text{maks}}} = \text{kemiringan (slope)}$$

$$Q_{\text{maks}} = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,0048} = 208,3333 \text{ mg/g}$$

Intensitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q_{\text{maks}} \cdot b} = \text{intercept}$$

$$b = \frac{1}{208,3333 \text{ mg/g} \cdot 0,0362}$$

$$= 0,132596706 \text{ L mg}^{-1}$$

#### 2. Isoterm adsorpsi Freundlich bentuk linear

Berdasarkan model isotermal Freundlich diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,1563x + 1,926$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,1563 dan nilai *intercept*

$$(b) = 1,926$$

Nilai kapasitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Log } k = \text{intercept}$$

$$k = \text{invers log } \text{intercept}$$

$$k = \text{invers log } 1,926$$

$$k = 84.3334 \text{ mg/g}$$

Intensitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{n} = \text{kemiringan (slope)}$$

$$\frac{1}{n} = 0,1563$$

### 3. Isoterm adsorpsi Sips bentuk linear

$$\ln \frac{q_e}{q_m - q_e} = \ln K_s + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e$$

Parameter	Nilai
Persamaan	$y = 0,9122x - 1,0395$
$K_s$	0,105407792
N	1.201130314
$q_{maks}$	207,5808
$R^2$	0,4387

**Lampiran 14.** Penentuan kapasitas adsorpsi remazol kuning oleh MCM-41-C

$C_o$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	$m$ (g)	$q_e$ (mg/g)	$C_e/q_e$	$\log C_e$	$\log q_e$
549.21	49.047829	0.1	250.0817	0.1961271	1.6906193	2.3980808
830.86	99.173914	0.1	365.84305	0.2710838	1.9963979	2.5632941
1243.91	220.91305	0.1	511.49843	0.4318933	2.3442219	2.7088443
1870.69	554.86952	0.1	657.91024	0.8433814	2.7441904	2.8181661
2820.52	1520.0867	0.1	650.21657	2.3378167	3.1818682	2.8130581

Contoh perhitungan RBBR yang teradsorpsi ( $q_e$ ) pada konsentrasi

( $C_o$ ) 549,21 mg/L :

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m}$$

$$q_e = \frac{(549,21 \text{ mg/L} - 49,047826 \text{ mg/L})0,05 \text{ L}}{0,1 \text{ g}}$$

$$q_e = 250.081087 \text{ mg/g}$$

## Lampiran 15. Isoterm adsorpsi MCM-41-C

### 1. Isoterm adsorpsi langmuir bentuk linear

Berdasarkan model isotermal Langmuir diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,0015x + 0,1053$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,0015 dan nilai *intercept* (b) = 0,01053

Nilai kapasitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q_{\text{maks}}} = \text{kemiringan (slope)}$$

$$Q_{\text{maks}} = \frac{1}{\text{slope}} = \frac{1}{0,0015} = 666,66 \text{ mg/g}$$

Intensitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q_{\text{maks}} \cdot b} = \text{intercept}$$

$$b = \frac{1}{666,66 \text{ mg/g} \cdot 0,1053}$$

$$= 0.0142451 \text{ L mg}^{-1}$$

### 2. Isoterm adsorpsi Freundlich bentuk linear

Berdasarkan model isotermal Freundlich diperoleh persamaan garis :

$$y = 0,2833x + 1,9828$$

dari persamaan garis diperoleh nilai *slope* (a) = 0,2833 dan nilai *intercept* (b) = 1,9828

Nilai kapasitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Log } k = \text{intercept}$$

$$k = \text{invers log intercept}$$

$$k = \text{invers log } 1,9828$$

$$k = 96.116954 \text{ mg/g}$$

Intensitas adsorpsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{1}{n} = \text{kemiringan (slope)}$$

$$\frac{1}{n} = 0,2833$$

### 3. Isoterm adsorpsi Sips bentuk linear

$$\ln \frac{q_e}{q_m - q_e} = \ln K_s + \frac{1}{n} \cdot \ln C_e$$

Parameter	Nilai
Persamaan	$y = 1,8312x - 7,7279$
$K_s$	0,011753772
N	1,171851003
$q_{maks}$	658,9102
$R^2$	0,7142

**Lampiran 16.** Data desorpsi zat warna remazol kuning oleh MCM-41-TC dan MCM-41-C

Desorpsi menggunakan agen pendesorpsi akuades (H<sub>2</sub>O)

Adsorben	Abs	Cdes (mg/L)	V(L)	m(g)	qe(mg/g)	% Desorpsi
TC-MCM-41	1.25	51.2217391	0.05	0.1	25.6108696	12.39750303
C1-MCM-41	0.865	34.4826087	0.05	0.1	17.2413043	2.620616597

dimana:

$$q_{\text{ads}} \text{ MCM-41-TC} = 206,5808 \text{ mg/g}$$

$$q_{\text{ads}} \text{ MCM-41-C} = 657,9102 \text{ mg/g}$$

Contoh perhitungan jumlah remazol kuning yang terdesorpsi oleh MCM-41-TC:

$$q_{\text{des}} = \left[ \frac{C_{\text{des}}}{w} \right] V$$

$$q_{\text{des}} = \frac{51.2217 \text{ mg/L}}{0,1 \text{ g}} 0,05 \text{ L}$$

$$q_{\text{des}} = 25,6108 \text{ mg/g}$$

Rasio desorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{\text{Jumlah zat warna terdesorpsi}}{\text{Jumlah zat warna teradsorpsi}} \times 100$$

Contoh perhitungan rasio desorpsi remazol kuning oleh MCM-41-TC:

$$\% \text{ Desorpsi} = \frac{q_{\text{des}}}{q_{\text{ads}}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Desorpsi} &= \frac{25,6108 \text{ mg/g}}{206,5808 \text{ mg/g}} \times 100 \\ &= 12,3 \% \end{aligned}$$